

Bilan économique et environnemental relatif au projet de décarbonation du **SEDIF**

Rapport final - actualisé
Mars 2023



Trajectoires durables.

Mentions légales

La présente étude est une actualisation de celle réalisée en 2019 par Deloitte Conseil et IRH¹. Cette étude est réalisée par In Extenso Innovation Croissance (IEIC) à partir de données produites par le Syndicat des Eaux d'Île-de-France (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 IEIC 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°202022064: mission d'actualisation du bilan économique et environnemental relatif au projet d'insertion d'unités membranaires sur le territoire du SEDIF ». À ce titre, IEIC 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 IEIC. 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 (Éric Requis, Coralie Duplan-Giraud, Yannick Pétilion) ; In Extenso Innovation Croissance (Mathilde Borie, Erwan Bourgeois, Camille Dutreux) ; Experte indépendante (Mariane Ighilariz), 2018. *Bilan économique et environnemental relatifs au projet de décarbonatation du SEDIF*. 78 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.

¹ SEDIF (Anne-Laure COLON) ; Deloitte Développement Durable (Sébastien SOLEILLE, Mary Ann KONG, Alima KOITE, Robert ANGOUILLANT) ; IRH Ingénieur Conseil (Thierry PICHARD), 2018. Bilan économique et environnemental relatifs au projet de décarbonatation du SEDIF. 119 pages.

Préambule

Le présent rapport s'inscrit dans le cadre de l'actualisation du « Bilan économique et environnemental relatif au projet d'insertion d'unités membranaires sur le territoire du SEDIF » de l'étude *État des lieux du traitement du calcaire dans le monde*, menée par Deloitte Développement Durable (DDD) en partenariat avec IRH Ingénieur Conseil (IRH) pour Le Syndicat des Eaux d'Ile-de-France (SEDIF) en 2019.

Ce rapport est le livrable final et présente :

- Une introduction du contexte de l'étude et une mise à jour des nouvelles initiatives de décarbonation depuis 2019 en Europe et dans le monde ;
- L'actualisation, après vérification, revue critique et amélioration du modèle mis au point et utilisé en 2019, du « Bilan économique et environnemental relatif au projet d'insertion d'unités membranaires sur le territoire du SEDIF » avec :
 - La mise à jour de la revue des impacts environnementaux de la présence du calcaire dans l'eau potable et l'actualisation du bilan environnemental du projet de traitement membranaire envisagé par le SEDIF ;
 - La mise à jour de la revue des impacts socio-économiques de la présence du calcaire dans l'eau potable ainsi que l'actualisation - couplée à une amélioration méthodologique - du bilan socio-économique pour les ménages du projet de traitement membranaire envisagé par le SEDIF. Un benchmark des coûts des solutions individuelles de traitement du calcaire et d'adoucissement de l'eau a notamment été réalisé pour évaluer les coûts évités par une stratégie de décarbonation collective versus individuelle.

Les données et les hypothèses détaillées servant à calculer ou estimer les impacts socio-économiques et environnementaux sont détaillées dans ce rapport. Une comparaison entre les impacts économiques et énergétiques pour les usagers de l'eau du SEDIF les coûts estimés d'investissement et d'exploitation et de consommation d'énergie de la décarbonation collective est également présentée.

- Des recherches complémentaires menées sur de potentiels impacts élargis de la décarbonation, avec notamment une évaluation qualitative des aspects suivants :
 - L'investigation des impacts du calcaire sur la peau et les cheveux ;
 - L'évaluation de l'impact de la qualité de l'eau sur la composition des rejets d'eaux usées.
- Une conclusion de l'analyse.

Table des matières

Mentions légales	1
Préambule	2
Table des matières	3
Introduction.....	5
1 Contexte	5
2 Objectifs.....	6
3 Champ de l'étude	6
Bilan économique et environnemental actualisé.....	8
1 Méthodologie.....	8
1.1 Rappel de la méthode d'analyse et actualisation	8
1.1.1 Scénarios de dureté – actualisés	9
1.1.2 Scénarios d'usage – actualisés	9
1.2 Rappel de la méthode de calcul et actualisation	10
2 Situation de référence actualisée.....	11
2.1 Données de référence actualisées	11
2.1.1 Caractéristiques des usines	11
2.1.2 Profil d'usagers.....	11
2.1.3 Consommation de l'eau	12
2.1.4 Usages domestiques – particuliers, gestionnaires d'immeuble, collectivités.....	13
2.1.5 Coûts des solutions individuelles de traitement du calcaire et d'adoucissement de l'eau	15
2.1.6 Autres valeurs de référence	16
3 Bilan économique et environnemental : particuliers, collectivités et gestionnaires d'immeuble	18
3.1 Impacts environnementaux	18
3.1.1 Consommation énergétique des équipements ménagers	18
3.1.2 Durée de vie des équipements	23
3.1.3 Volume de déchets générés par l'achat de bouteilles d'eau	25
3.1.4 Consommation de produits d'hygiène et d'entretien	27
3.1.5 Émissions de CO ₂ du projet	28
3.1.6 Utilisation d'adoucisseurs individuels.....	36
3.2 Impacts socio-économiques.....	36
3.2.1 Gains liés à la réduction de la consommation d'énergie	36
3.2.2 Gains liés au prolongement de la durée de vie des équipements	37
3.2.3 Gains sur les achats de bouteilles d'eau.....	38

3.2.4	Gains sur les achats de produits d'hygiène et d'entretien	39
3.2.5	Gains liés à l'arrêt de l'adoucissement individuel.....	40
3.2.6	Satisfaction des usagers	40
3.2.7	Résultats globaux	40
4	Synthèses des résultats du bilan.....	44
4.1	Bilan énergétique – particuliers, collectivités et gestionnaires d'immeuble	44
4.2	Bilan économique – particuliers, collectivités et gestionnaires d'immeuble	45
4.3	Bilan environnemental – particuliers, collectivités et gestionnaires d'immeubles	47
4.4	Bilan économique, énergétique et environnemental – Particuliers, collectivités et gestionnaires d'immeuble	48
	Analyses complémentaires	49
1	Impacts économiques et environnementaux de la décarbonatation collective sur les professionnels.....	49
1.1	Catégories de professionnels considérées.....	49
1.2	Impacts de la décarbonatation sur des professionnels du secteur tertiaire.....	50
1.2.1	Focus 1 : entreprises de service.....	50
1.2.2	Focus 2 : Hôtellerie & restauration.....	51
2	Impacts sanitaires : investigation des impacts du calcaire sur la peau et les cheveux	53
2.1	Impacts sur la peau	53
2.1.1	En bref.....	53
2.1.2	Revue de littérature et résultats	54
2.2	Impacts sur les cheveux.....	55
2.2.1	En bref.....	55
2.2.2	Revue de littérature et résultats	55
3	Impacts de la décarbonatation sur le traitement des eaux usées	57
	Conclusions et enseignements clés	58
1	Analyse critique des résultats.....	58
2	Les pistes à approfondir.....	61
	Annexes.....	62
	Annexe 1 : Description des catégories et indicateurs d'impact.....	62
	Annexe 2 : Valeurs de référence.....	66
	Annexe 3 : Données d'impact et hypothèses employées.....	69
	Annexe 4 : Benchmark des coûts des solutions individuelles d'adoucissement de l'eau.....	76
	Annexe 5 : Mise à jour des nouvelles initiatives de décarbonatation depuis 2019.....	77
	Annexe 6 : Revue bibliographique des impacts du calcaire sur la peau et les cheveux	78

Introduction

1 Contexte

Afin de répondre à l'évolution des attentes perçues 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'usager), 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 actuellement les exigences réglementaires².

Cependant, sa teneur en calcaire diffère en fonction de la ressource en eau exploitée. La dureté d'une eau ou titre hydrotimétrique correspond à la concentration en calcium et en magnésium dans l'eau. Au-delà de l'abattement des micropolluants et la réduction de la chloration en réseau qui sont au cœur du projet du SEDIF, l'optimisation de la dureté de l'eau est le 3^e volet clés dudit projet. Pour répondre à ces 3 objectifs, le SEDIF a fait le choix d'installer un traitement membranaire haute performance sur ses filières de traitement dans ses trois usines principales.

Le SEDIF souhaite quantifier les bénéfices économiques et environnementaux attendus de la décarbonatation en fonction de différents scénarios de dureté envisagés. Cela lui permettra de confirmer la proportionnalité de ces bénéfices par rapport à l'objectif qu'il se sera fixé et aux investissements consentis, pour que le projet soit équilibré et créateur de valeur pour les usagers et la société en général, mais aussi de pouvoir les communiquer de manière efficace auprès des consommateurs (sensibilisation à une éventuelle modification de la facture d'eau, changement de comportements, etc.).

Ce rapport servira notamment d'appui au débat public organisé sur le projet du SEDIF d'amélioration et de sécurisation de l'alimentation en eau potable. Prévu au premier semestre 2023, sous l'égide de la Commission Nationale du Débat Public (CNDP), ce débat sera l'occasion de dialoguer avec le public, qu'il s'agisse des bénéficiaires, des riverains des usines du SEDIF ou plus largement de toutes parties prenantes, sur les enjeux du projet et de l'eau potable pour les prochaines décennies.

² Le présent rapport est établi avant effets de la transposition de la directive européenne sur l'eau, qui génèrera à moyen terme une évolution de ces exigences.

2 Objectifs

La présente étude a pour objectif de vérifier grâce à une seconde analyse, d'actualiser et préciser le bilan économique et environnemental (réalisé en 2019¹) du projet du SEDIF, en visant spécifiquement le sujet de la décarbonation. Plus particulièrement, elle vise à quantifier les impacts économiques, environnementaux et énergétiques engendrés chez l'utilisateur par la présence du calcaire dans l'eau potable distribuée actuellement sur le territoire du SEDIF – par rapport à l'eau décarbonatée collectivement qui pourrait leur être distribuée ultérieurement.

Elle vise aussi à des analyses qualitatives complémentaires sur des impacts indirects de la décarbonation, avec notamment :

- L'investigation des impacts du calcaire sur la peau et les cheveux ;
- L'évaluation de l'impact de la qualité de l'eau sur la composition des rejets d'eaux usées.

3 Champ de l'étude

Le champ de cette étude couvre les impacts environnementaux, sanitaires et socio-économiques attendus de la décarbonation pour les trois usines principales alimentant très majoritairement (97%) le territoire du SEDIF. De ce fait, l'usine d'Arvigny, prise en compte dans l'étude réalisée en 2019, n'a pas été considérée dans cette étude, car elle ne fait plus partie du projet d'implantation de traitement membranaire dans le projet du SEDIF recentré sur ses trois autres usines : Choisy-le-Roi, Neuilly-sur-Marne et Méry-sur-Oise. Ces trois usines alimentent en eau potable les 4,35 millions d'habitants des secteurs géographiques du SEDIF. Les usines et les communes d'implantation considérées dans cette étude sont les suivantes :

Tableau 1 : Paramètres techniques des usines

Territoire /usine	Dureté moyenne (°f), Capacité maximale (m3/j) 2015	Nombre d'utilisateurs desservis
Choisy-le-Roi	23 600 000	1,85 millions
Neuilly-sur-Marne	27 600 000	1,63 millions
Méry-sur-Oise	17 340 000	0,87 millions
Nombre total d'utilisateurs desservis :		4,35 millions

Le SEDIF compte parmi ses abonnés de multiples catégories : foyers et ménages habitant en logement collectif ou individuel, gestionnaires d'immeuble (copropriétés très majoritairement composées de logements), collectivités qui regroupent les points de service desservant les communes (e.g. les établissements publics, les établissements scolaires, les établissements publics de santé), établissements du secteur tertiaire et le secteur industriel.

Cette analyse prend en compte l'ensemble des impacts pertinents pour les différents abonnés du SEDIF, et ce sur la base d'une revue poussée et détaillée des données disponibles (voir alinéa suivant) ainsi que des hypothèses émises en cas de manque de données. La transparence et la traçabilité des données et hypothèses ont été une priorité méthodologique dans l'exercice de l'évaluation des impacts.

Dans la précédente étude³ étaient présentés les impacts environnementaux et économiques de deux scénarios de dureté (8 °f et 15 °f) sur trois secteurs industriels (industrie pharmaceutique, industrie agroalimentaire, blanchisserie professionnelle). Cependant, en raison d'un manque de données sur l'impact du calcaire dans le milieu professionnel, il a été décidé, conjointement avec le SEDIF, de ne pas mettre à jour ce volet précis. En effet, il n'existe pas à l'heure actuelle d'études fiables sur ce sujet, les bancs d'essai étant difficilement répétables. De plus, nous n'avons eu que peu de retours des professionnels contactés, ces derniers ne s'étant pour la plupart peu interrogés avec précision sur ces impacts. Les informations collectées sont donc principalement qualitatives. Ce volet n'apparaît donc pas dans l'outil transmis avec ce rapport.

³ SEDIF (Anne-Laure COLON) ; Deloitte Développement Durable (Sébastien SOLEILLE, Mary Ann KONG, Alima KOITE, Robert ANGOUILLANT) ; IRH Ingénieur Conseil (Thierry PICHARD), 2018. Bilan économique et environnemental relatifs au projet de décarbonatation du SEDIF. 119 pages.

Bilan économique et environnemental actualisé

1 Méthodologie

Le déroulement de la méthodologie de l'actualisation du bilan économique et environnemental se décompose en quatre tâches principales :

- Mise à jour des impacts environnementaux du calcaire dans l'eau potable ;
- Mise à jour des impacts socio-économiques du calcaire dans l'eau potable ;
- Revue et actualisation du bilan environnemental ;
- Revue, actualisation et amélioration méthodologique du bilan socio-économique.

Cette méthodologie se base sur celle développée dans la première version du bilan économique et environnemental :

- Définition du cadre/méthode d'analyse ;
- Analyse critique des données, collecte d'informations complémentaires et hypothèses de simplification ; et
- Calcul des impacts, des surcoûts et consolidation du bilan global.

1.1 Rappel de la méthode d'analyse et actualisation

L'approche pour l'analyse des impacts s'appuie sur un cadre d'analyse, établi avec l'objectif d'encadrer le déroulement de l'évaluation (Figure 1). Il intègre un modèle (outil Excel) permettant de comparer les impacts attendus du projet de décarbonation du SEDIF pour chaque usine et par catégorie d'impacts. La définition du cadre d'analyse passe par la définition :

- **Des données de référence** : Cela fait référence aux valeurs de base (i.e. actuelles, sans modification de la dureté de l'eau desservie par le SEDIF) ou de référence (par ex. les principales catégories d'utilisateurs concernées et leurs postes de consommation, le volume d'eau consommé par catégorie d'utilisateur et par usines, le nombre d'utilisateur desservi par chaque usine, etc.) qui permettent de comparer les résultats des scénarios de dureté cibles (8, 10 et 12 °f) avec la situation actuelle. La partie 2.1 du chapitre sur le Bilan présente les données de référence ; l'Annexe 2 inclut les informations détaillées pour ces valeurs de référence.
- **Des catégories d'impacts et indicateurs associés** : Les impacts environnementaux et socio-économiques sont les deux principales catégories d'impact qui sont analysées. Des indicateurs spécifiques à chaque catégorie ont été définis afin de quantifier autant que possible les impacts potentiels du projet de décarbonation du SEDIF. Une description détaillée de tous les indicateurs évalués dans le cadre de l'étude est disponible en Annexe 1 : Description des catégories et indicateurs d'impact.
- **Des facteurs de modélisation** : Les facteurs de modélisation sont des facteurs permettant de quantifier les impacts i.e. les corrélations entre la dureté de l'eau et la consommation énergétique des équipements ménagers, la consommation des produits d'entretien, etc. Pour cela l'équipe projet a :
 - Collecté et actualisé les données complémentaires en cas de données manquantes ou peu fiables – à la suite des entretiens avec les experts et une recherche bibliographique exhaustive ;

- Formulé des hypothèses de simplification robustes dans certains cas quand les données n'étaient pas disponibles ou peu fiables ;
- Distingué les indicateurs quantitatifs et les indicateurs qualitatifs ; et
- Déterminé la fiabilité des résultats (en fonction des sources utilisées, en comparaison avec d'autres études similaires et via une analyse de sensibilité).

Toutes les hypothèses et calculs employés pour mesurer les impacts du projet de décarbonation sont décrits dans le bilan économique et environnemental et récapitulées dans l'Annexe 3.

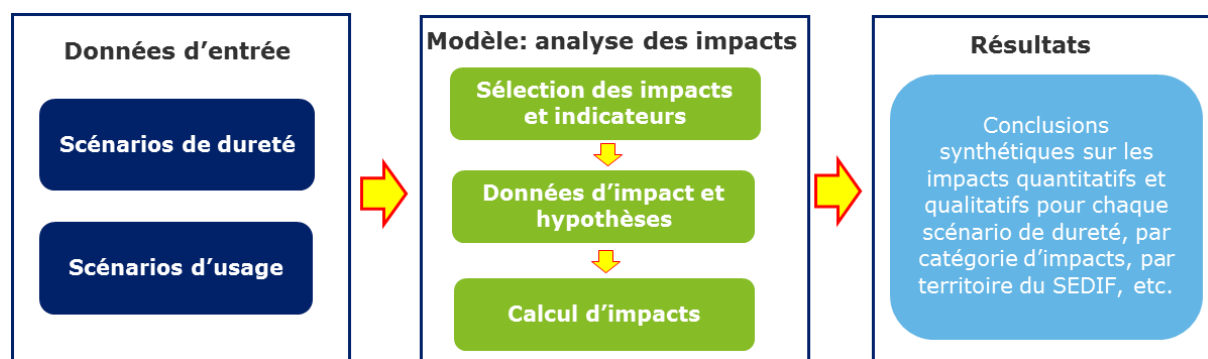


Figure 1 : Le cadre d'analyse

Les données d'entrée établissant le scénario de référence (ou situation actuelle) sont classées en deux catégories principales : les scénarios de dureté (réelle et cible) et les scénarios d'usage.

1.1.1 Scénarios de dureté – actualisés

Les scénarios de dureté sur lesquels l'évaluation des impacts du projet de décarbonation du SEDIF se base, incluent :

- Les valeurs de dureté actuelles : la dureté de l'eau en moyenne distribuée par les trois usines étudiées (voir : Paramètres techniques des usines Tableau 1) ; et,
- Différents scénarios correspondant aux objectifs du SEDIF, qui définissent deux intervalles à partir des duretés cibles suivantes : 8, 10 et 12 °f.

Intervalle 1 : 8-10 °f

Intervalle 2 : 10 - 12 °f

1.1.2 Scénarios d'usage – actualisés

Les scénarios d'usage sont basés sur les données socio-économiques relatives au périmètre d'activité du SEDIF, notamment les grandes catégories d'usagers représentatives des abonnés du SEDIF et qui seront potentiellement impactées par le projet de décarbonation : les particuliers, les gestionnaires d'immeuble, les collectivités et les professionnels.

Les scénarios d'usage prennent également en compte la quantité d'eau consommée ainsi que les **postes de consommation** (et leurs conditions d'utilisation) les plus pertinents pour chaque catégorie d'utilisateur (voir Tableau 2). Par exemple, pour les particuliers, l'eau est plutôt utilisée à des fins **domestiques** notamment pour l'alimentation, l'hygiène personnelle et l'électroménager (linge, vaisselle, machine à café et bouilloire).

La **couverture d'utilisation** pour certains postes de consommation a également été définie en se basant sur des données issues de l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie

(ADEME)⁴. Ceci est valable en particulier pour les équipements domestiques (appareils électroménagers). En effet, la fréquence d'utilisation ainsi que la couverture des usagers de tels équipements varient d'un foyer à l'autre : tous les usagers n'ont pas forcément un chauffe-eau électrique à leur domicile, il en est de même pour les lave-vaisselles. Des hypothèses ont donc été formulées sur les paramètres de couverture (par ex. 97 % des foyers ont accès à un lave-linge alors que 67 % des foyers ont un lave-vaisselle) et la fréquence d'utilisation de tels équipements (si disponible). Les hypothèses de calcul associées à chaque poste de consommation sont présentées en Annexe 3 : Données d'impact et hypothèses employées.

1.2 Rappel de la méthode de calcul et actualisation

Un modèle de calcul des impacts a été établi sous format Excel, prenant en compte les facteurs décrits précédemment (scénarios de dureté et scénarios d'usage), et qui permet de quantifier les impacts potentiels du projet de décarbonation sur le territoire du SEDIF.

Le modèle Excel développé permet de sélectionner les différents scénarios de dureté (les intervalles cibles de dureté et les valeurs actuelles de référence) et de visualiser les résultats par usine, par indicateur et le bilan global intégrant les 3 catégories d'usagers (particuliers, gestionnaires d'immeuble et collectivités). Le modèle a été conçu en se basant sur les données issues d'études évaluant les impacts du calcaire chez les usagers (DTU management, 2009⁵ ; WQRF, 2011⁶ ; Godskesen, 2012⁷).

Dans chaque publication, les indicateurs étudiés étaient principalement la consommation énergétique, la durée de vie des équipements ainsi que la quantité de détergents utilisés. L'effet du calcaire sur ces paramètres a été quantifié pour différents niveaux de dureté. Nous nous sommes donc basés sur ces résultats empiriques validés par la communauté scientifique pour évaluer la corrélation ($R^2 \sim 1$) - qui s'est révélée linéaire - entre la dureté de l'eau et ces indicateurs. Les formules corrélant la valeur de chaque indicateur selon la dureté de l'eau sont détaillées en Annexe 3 : Données d'impact et hypothèses employées.

Par ailleurs, avant d'évaluer les impacts environnementaux ou socio-économiques, une autre étape a été d'identifier les indicateurs quantitatifs et les indicateurs qualitatifs. En effet, la quantification de tous les indicateurs n'était pas toujours possible - notamment dans le cas des indicateurs sanitaires, à cause de la qualité ou de l'indisponibilité des données requises. Dans ces cas, les résultats sont présentés qualitativement et sur la base d'informations pertinentes recueillies dans la littérature ou via des entretiens avec des experts. Pour les catégories d'impacts qui ont été quantifiées, on peut noter que :

- La quantification des impacts environnementaux de production, consommation et fin de vie des équipements endommagés ou de produits connexes (hygiène, entretien) prend en compte, **lorsqu'elles existent**, les données d'inventaire du cycle de vie de ce type de produit.
- En fonction des catégories d'impacts quantifiés, des degrés de confiance ont été associés à la mesure de l'impact.

Dans la présentation des deux bilans environnementaux et économiques pour les usages domestiques de l'eau, chaque résultat est précédé par l'explication de la méthodologie de calcul adoptée pour l'obtenir.

⁴ ADEME, 2022, « Électricité : combien consomment les appareils de la maison ? » (données 2020)

⁵ DTU management, 2009. Life Cycle Assessment on Central Softening of Drinking Water in Copenhagen. N.B. Pays de l'étude : Copenhague, Danemark.

⁶ WQRF, 2011. Softened Water Benefits Study -Energy savings and detergent savings. N.B. Pays de l'étude : Etats-Unis.

⁷ Godskesen, B. et al., 2012. Life cycle assessment of central softening of very hard drinking water. N.B. Pays de l'étude : Copenhague, Danemark.

2 Situation de référence actualisée

L'évaluation des impacts potentiels du projet de décarbonation est basée sur les duretés de l'eau distribuée par les trois usines principales, ainsi que d'autres valeurs de référence. Ce chapitre présente ces données de référence correspondant à la situation actuelle sur le territoire Ile-de-France du SEDIF.

2.1 Données de référence actualisées

Afin de pouvoir comparer la situation actuelle aux impacts attendus des différents scénarios de dureté cibles du projet, un **scénario de référence** a été établi. Le scénario de référence prend en compte les données de référence suivantes :

- Caractéristiques des usines (dureté moyenne, nombre d'usagers desservis),
- Profils d'usagers,
- Consommation de l'eau,
- Autres paramètres de référence (consommation d'énergie, émissions de CO₂).

2.1.1 Caractéristiques des usines

Les caractéristiques techniques de chaque usine sont des informations clés car elles nous permettent d'estimer la magnitude des impacts globaux sur le territoire, par secteur géographique et selon le scénario de dureté cible.

A noter qu'à l'heure actuelle, l'eau distribuée par les usines évaluées peut être considérée comme dure $TH \geq 15$ °f) ou très dure ($TH \geq 25$ °f). Le nombre d'usagers desservis par ces usines représente environ 4,35 millions d'usagers. L'usine de Choisy-le-Roi représente la plus grande part du territoire en termes de nombre d'usagers desservis (43 %).

Un procédé de nanofiltration a déjà été mis en place à l'usine de Méry-sur-Oise en 1999, permettant d'améliorer la dureté de l'eau produite par l'usine. Ce procédé a permis un passage de 30 °f à 17 °f, ce qui fait de l'usine de Méry-sur-Oise l'usine du SEDIF présentant la dureté la plus faible actuellement.

2.1.2 Profil d'usagers

Le SEDIF compte parmi ses abonnés de multiples catégories d'usagers définies en fonction de leurs usages de l'eau. Afin d'affiner l'évaluation, trois grandes catégories d'usagers ont été sélectionnées par rapport à leurs principaux postes de consommation : les particuliers, les gestionnaires d'immeuble, les collectivités (Tableau 2). En outre, deux principaux usages de l'eau peuvent être distingués : les usages domestiques, représentés dans le tableau ci-dessous, et les usages professionnels.

Tableau 2 : Profil d'usagers et principaux postes de consommation

Catégorie d'usager	Définition	Postes de consommation
Gestionnaire d'immeuble	Les gestionnaires d'immeuble représentent les usagers des habitats collectifs (bailleur sociaux, copropriété, ...). L'utilisation de l'eau est donc plutôt pour les usages domestiques.	<ul style="list-style-type: none"> • Usage domestique : <ul style="list-style-type: none"> ○ Alimentation (boisson et cuisine) ○ Hygiène personnelle (bain et douche)
Particulier	Les particuliers sont des individus habitants dans un appartement ou une maison individuelle / pavillon (91% des particuliers),	

Catégorie d'utilisateur	Définition	Postes de consommation
	caractérisés par une consommation domestique de l'eau.	<ul style="list-style-type: none"> ○ Sanitaires (toilettes, nettoyage des domiciles) ○ Linge ○ Vaisselle ○ Autres (machine à café, bouilloire)
Collectivité	Les collectivités concernent les points de service desservant les communes : établissements publics (les mairies, caisse de dépôts, etc.), établissements scolaires (écoles, lycées), services d'assainissement collectifs, etc.	<ul style="list-style-type: none"> • Usage domestique: <ul style="list-style-type: none"> ○ Alimentation ○ Sanitaires/ nettoyage ○ Autres (machine à café, bouilloire)

2.1.3 Consommation de l'eau

En 2019 et 2021, les gestionnaires d'immeubles (54 %) et les particuliers (21 %) représentaient 76 % du volume total d'eau consommée sur le territoire du SEDIF. Les professionnels et les collectivités représentaient respectivement 16 % et 8 % de la consommation totale d'eau. Le Tableau 3 récapitule la part de volume total d'eau consommée par catégorie d'utilisateurs et par usine, communiqués par le SEDIF. Enfin, le Tableau 4 présente la consommation d'eau des différentes catégories d'utilisateurs par usine. Étant donné que nous ne disposons pas du nombre d'utilisateurs se trouvant derrière chaque catégorie d'abonné, ces données de consommation d'eau servent de base pour évaluer les impacts par type d'utilisateurs et à l'échelle des usines.

Tableau 3 : Volume de l'eau consommée par type d'abonné, 2021⁸

Catégorie d'abonné	Volume d'eau consommé (m ³)
Gestionnaire d'immeuble	129 163 163
Particulier	52 051 501
Professionnel	37 472 269
Collectivité	19 578 492
Total	238 265 427

Tableau 4 : Consommation d'eau par catégorie d'utilisateur et par usine, 2021⁸

USINES	Collectivité	Gestionnaire d'immeuble	Particulier	Professionnel	TOTAL
Neuilly-sur-Marne	7 046 347 m ³	48 885 151 m ³	19 157 816 m ³	14 558 864 m ³	89 648 178 m³
Choisy-le-Roi	9 550 649 m ³	60 691 473 m ³	17 602 743 m ³	17 687 169 m ³	105 532 035 m³
Méry-sur-Oise	2 981 497 m ³	19 586 538 m ³	15 290 942 m ³	5 226 236 m ³	43 085 214 m³
TOTAL	19 578 493 m³	129 163 163 m³	52 051 502 m³	37 472 270 m³	238 265 427 m³

⁸ Données fournies par le SEDIF.

2.1.4 Usages domestiques - particuliers, gestionnaires d'immeuble, collectivités

L'**usage domestique** de l'eau désigne l'eau utilisée à des fins domestiques ; par exemple, pour boire, préparer de la nourriture, se laver et se brosser les dents, laver les vêtements, faire la vaisselle etc. Ce type d'usage et les postes de consommation associés concernent donc surtout trois catégories d'usagers : **les particuliers, les collectivités et les gestionnaires d'immeuble**.

D'après les données du CIEAU⁹, les usages domestiques de l'eau concernent principalement l'alimentation - qui couvre la cuisine et la consommation d'eau du robinet -, la vaisselle, le linge, les sanitaires et le nettoyage des locaux, l'hygiène personnelle (bains et douches), le jardin et la voiture, ainsi que d'autres utilisations de l'eau notamment la machine à café et la bouilloire, que nous n'avons pas considéré dans l'alimentation. Dans le cadre de cette étude, les postes de consommation « voiture et jardin » n'ont pas été évalués car nous estimons que la décarbonatation aura peu ou pas d'effet sur ces postes. La répartition de ces différentes utilisations domestiques de l'eau est indiquée dans la Figure 2 ci-dessous. Ces pourcentages peuvent varier d'un foyer à l'autre, car la consommation d'eau dépend du matériel utilisé et des habitudes de chacun. Par exemple, certains lave-vaisselles sont plus économes en eau que d'autres et certains appareils mal réglés peuvent entraîner une surconsommation d'eau, etc. De plus, dans notre cas, nous avons estimé que le poste de consommation « divers » ne concerne que l'eau utilisée pour la machine à café et la bouilloire.

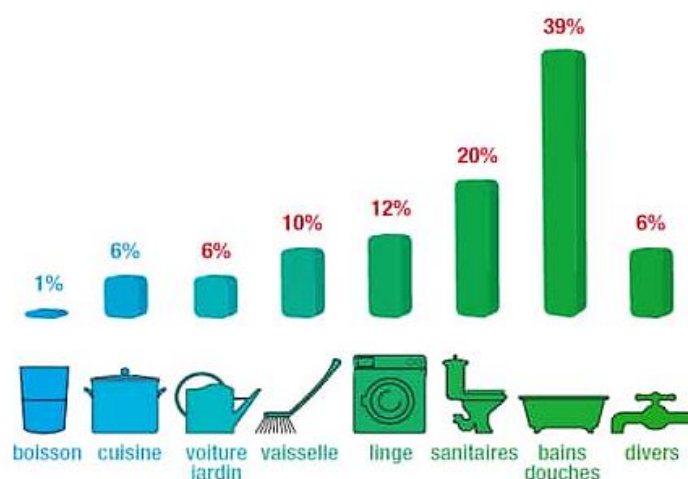


Figure 2 : Répartition des utilisations domestiques de l'eau (CIEAU, 2017)

Les données de consommation d'eau par catégorie d'usagers (présentées dans le Tableau 4) indiquent que l'usage domestique, qui est l'usage principal de l'eau pour les catégories des particuliers, collectivités et gestionnaires d'immeubles, est l'utilisation d'eau la plus représentée sur le territoire du SEDIF.

Afin d'obtenir la consommation d'eau associée à chaque usage domestique, nous avons appliqué les pourcentages du CIEAU aux volumes d'eau consommés par les catégories d'usagers présentées dans le Tableau 4. Par exemple pour déterminer le volume d'eau utilisé pour l'alimentation, nous avons multiplié par 7% la somme des consommations d'eau des collectivités, des particuliers et des gestionnaires d'immeuble.

⁹ CIEAU, 2022. « Quelle est la consommation d'eau moyenne par ménage ? ». Disponible à l'adresse : www.cieau.com/le-metier-de-leau/ressource-en-eau-eau-potable-eaux-usees/quels-sont-les-usages-domestiques-de-leau

Le tableau suivant présente la répartition de la consommation d'eau par type d'usages domestiques (susceptibles d'être impactés par le projet) et par usine. Les particuliers, les collectivités et les gestionnaires d'immeuble ont été pris en compte dans les calculs concernant les postes de consommation alimentation, usages sanitaires et autres (machine à café et bouilloire). En revanche, pour la consommation d'eau associée à l'hygiène personnelle, le linge et la vaisselle, seuls les particuliers et les gestionnaires d'immeuble ont été considérés.

Tableau 5 : Répartition du volume d'eau (m³) consommée par type d'usages domestiques et par usine

USINES	Alimentation	Hygiène	Sanitaire	Linge	Vaisselle	Autres	TOTAL (m ³)
Neuilly-sur-Marne	7 027 589	31 317 687	20 204 319	9 395 306	7 829 422	6 149 141	81 923 463
Choisy-le-Roi	6 149 141	30 534 745	17 568 973	9 395 306	7 829 422	5 270 692	76 748 278
Méry-sur-oise	2 650 128	13 602 217	7 571 796	4 185 298	3 487 748	2 271 539	33 768 726
TOTAL (m³)	15 826 858	75 454 649	45 345 088	22 975 910	19 146 591	13 691 371	192 440 467

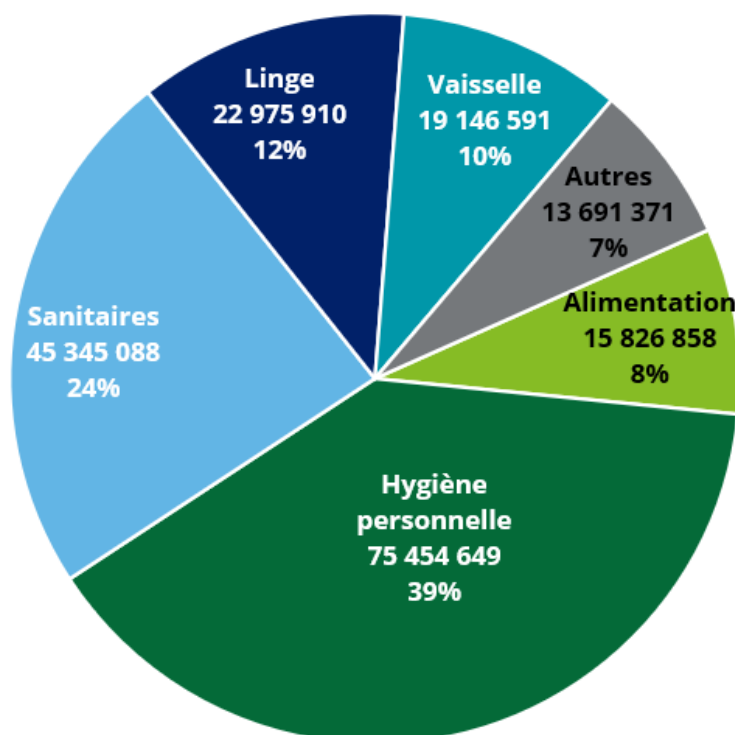


Figure 3 : Consommation d'eau en usage domestique, par poste

L'analyse montre que l'hygiène personnelle représente l'usage domestique le plus conséquent en termes de volume d'eau consommée (39 %) en 2021. L'hygiène personnelle concerne la consommation d'eau chaude pour les bains et les douches. Pour rappel, la catégorie « autre » correspond à l'utilisation de la bouilloire et de la machine à café.

2.1.5 Coûts des solutions individuelles de traitement du calcaire et d'adoucissement de l'eau

La mise en œuvre de la décarbonatation collective permettrait, idéalement, la diminution de l'achat d'adoucisseurs individuels par les foyers.

À l'heure actuelle, nous n'avons pas identifié d'étude de marché accessible publiquement sur les adoucisseurs d'eau individuels. Dans un premier temps, des recherches ont été réalisées afin de définir le marché des solutions d'adoucissement d'eau existantes. Les données les plus pertinentes disponibles proviennent d'une étude réalisée en 2019 par l'union des professionnels du traitement de l'eau (UAE). Il en ressort que 25 % des répondants à cette étude sont équipés d'un système de traitement de l'eau domestique et 60 % d'entre eux ont choisi un adoucisseur comme solution. Toujours selon l'UAE, environ 100 000 adoucisseurs sont vendus chaque année en France. L'achat d'adoucisseur est réalisé majoritairement par le biais d'entreprises spécialisées (48 %) mais les plombiers (28 %), les grandes surfaces spécialisées (12 %) internet (3 %) et d'autres canaux (9 %) sont également plébiscités. De plus, le coût réel de l'adoucisseur dépendra, outre le modèle, du matériau de la tuyauterie, de la dureté initiale de l'eau, du nombre de personnes dans le foyer et par conséquent de la consommation d'eau mais aussi de la consommation d'eau en bouteille ou au robinet.

À la suite de ces recherches pour déterminer les tendances du marché du traitement de l'eau, un benchmark des différents adoucisseurs existants a été réalisé grâce aux informations disponibles en ligne et à des devis auprès de fournisseurs. Ces recherches ont permis dans un premier temps de définir les différents types d'adoucisseurs et leurs caractéristiques, les gammes de prix, les tailles en fonction de la dureté et de la taille du foyer ou encore les marques principales. Cette première vision a permis de cadrer l'étude en référençant au moins un adoucisseur de chaque type (à résine, sans sel, magnétique, osmoseur) et un modèle de chaque grande marque (Fleck, Water2buy, BWT, Culligan, AEG, Talassa, Autotrol, Clack, Apic, Aquahouse). Au total, 15 adoucisseurs ont été référencés selon leur coût d'achat (Annexe 4 : Benchmark des coûts des solutions individuelles d'adoucissement de l'eau).

Ces différentes recherches ont permis d'avoir une vision globale du marché des adoucisseurs avec des coûts d'achat allant de 399 à 1895€. Néanmoins, deux modèles d'adoucisseurs sont ressortis de l'étude représentant la majorité des ventes du fait de leur rapport qualité/prix. Ces deux modèles d'entrée de gamme sont le Fleck 5600 SXT 25L et le Water2buy W2B200, respectivement à 588 € et 399 € en prix d'achat. Un adoucisseur à une durée de vie moyenne de 10 ans. Dès lors, le coût d'achat doit être lissé sur 10 ans afin d'avoir une estimation du coût annuel (58,80 € pour le premier modèle et 39,90 € pour le second).

D'autres coûts liés à l'utilisation d'un adoucisseur d'eau s'ajoutent au coût d'achat comme l'installation, l'entretien et la consommation de sel puisque les modèles retenus sont des modèles classiques à résine.

Le coût lié à l'installation est facultatif mais coûte en moyenne 400 € pour des adoucisseurs d'entrée de gamme¹⁰. Les deux modèles retenus sont accompagnés d'un kit d'installation et d'un guide mais si l'utilisateur souhaite recourir à un professionnel le coût lissé sur 10 ans sera donc de 40 € en moyenne.

¹⁰ Travaux.com, 2020 – « Prix de l'installation d'un adoucisseur d'eau »

La consommation de sels pour les adoucisseurs à résine est d'environ 100 kg par an¹¹. Un sac de sel de 25 kg pour adoucisseur coûtant 8,50€ en grande surface¹² on a donc un coût annuel de 34 €. Pour le Fleck 5600 SXT 25L, un kit d'entretien doit être acheté au terme de la première année à 94,90 €¹³ puis les années suivantes un kit annuel à 26 €¹⁴ doit être acheté. On a donc une moyenne sur 10 ans d'environ 33 € par an.

Pour le Water2Buy W2B200, le kit d'entretien est de 40 € par an¹⁵.

Le coût de consommation d'électricité liée à un adoucisseur individuel est négligeable.

Pour le Fleck 5600 SXT 25L, on trouve un coût moyen annuel par foyer de 166 € (58,80 + 40 + 34 + 33). Pour le Water2Buy W2B200, on trouve un coût moyen annuel par foyer de 154 € (39,90 + 40 + 34 + 40).

Afin d'avoir la meilleure représentativité du marché, la moyenne du coût de ces adoucisseurs a été intégrée à l'outil, soit **un coût moyen de 160 € par an par foyer**.

2.1.6 Autres valeurs de référence

En plus des caractéristiques des usines (valeurs de dureté réelle), les profils d'utilisateurs, les informations sur la consommation d'eau et les principaux usages domestiques, d'autres paramètres de référence sont pris en compte dans le scénario de référence. Pour calculer les principaux **impacts de la décarbonation sur les particuliers, collectivités et les gestionnaires d'immeuble**, le scénario de référence intègre les données listées dans le Tableau 6.

Tableau 6 : Indicateurs de référence pour l'évaluation des impacts

Catégorie d'utilisateur	Indicateur d'impact	Données associées
Particulier, gestionnaire d'immeuble, collectivité	Les économies d'énergie réalisées	<ul style="list-style-type: none"> • Nombre moyen de personnes par foyer en Ile-de-France • Consommation énergétique des équipements électroménagers (lave-linge, lave-vaisselle, machine à café, bouilloire et chauffe-eau) en Ile-de-France • Fréquence d'utilisation des équipements électroménagers par foyer • Couverture des usagers des équipements électroménagers • Durée de vie moyenne des équipements électroménagers
	La réduction des émissions de GES (kgCO ₂ eq/an)	<ul style="list-style-type: none"> • Empreinte carbone de la consommation d'énergie électrique • Emissions de CO₂ des équipements électroménagers • Durée de vie moyenne des équipements électroménagers

¹¹ Aqua-direct, 2019 – « Quelle est la durée de vie d'un adoucisseur ? »

¹² Carrefour, 2023 – « Sel régénérant pour adoucisseur d'eau Axal 25kg »

¹³ Kit entretien pour adoucisseur d'eau Fleck 5600 SXT (adoucisseur-eau.com)

¹⁴ Kit Entretien Adoucisseur D'eau - Test TH avec Nettoyant Résine et Cartouche Microfibre 9"3/4 - Adoucisseur Eau (adoucisseur-eau.com)

¹⁵ Nettoyant pour résine SoftTec et kit de test annuel de dureté de l'eau – Water2Buy – Water Filtration Made Easy

Catégorie d'utilisateur	Indicateur d'impact	Données associées
		<ul style="list-style-type: none"> • Emissions de CO₂ liées à la consommation des détergents • Emissions de CO₂ liées à la consommation d'eau embouteillée
	Les économies réalisées	<ul style="list-style-type: none"> • Prix d'achat moyen de : Electricité ; Electroménagers (unité) ; Eau en bouteille (unité de 1,5 L). • Durée de vie moyenne et coûts de maintenance des équipements électroménagers • Coût d'achat des détergents • Coûts liés à la mise en place des systèmes de décarbonatation collective sur le territoire SEDIF

Les valeurs spécifiques ainsi que les sources sont récapitulées dans le Tableau 30 pour les particuliers, les collectivités et les gestionnaires d'immeuble (Annexe 2 : Valeurs de référence). Les détails sur les calculs et les hypothèses associés sont disponibles dans l'Annexe 3 : Données d'impact et hypothèses employées.

3 Bilan économique et environnemental : particuliers, collectivités et gestionnaires d'immeuble

Le bilan économique et environnemental relatif au projet de décarbonation du SEDIF pour les particuliers, les collectivités et les gestionnaires d'immeuble prend en compte les paramètres pertinents des trois usines du SEDIF analysées. Ces différentes catégories utilisant l'eau à des fins domestiques, ce bilan présente donc les impacts sur les usages domestiques de l'eau.

Les impacts environnementaux sur les particuliers, les collectivités et les gestionnaires d'immeuble relatifs à la décarbonation collective concernent :

- La consommation d'énergie des équipements ménagers (électroménager et chauffe-eau) ;
- Les émissions de CO₂ ;
- La durée de vie des équipements ménagers ;
- La production de déchets ;
- La consommation de produits d'hygiène et d'entretien.

3.1 Impacts environnementaux

3.1.1 Consommation énergétique des équipements ménagers

3.1.1.1 Méthode de calculs

L'analyse des impacts potentiels des scénarios de dureté sur la consommation énergétique des équipements ménagers concerne uniquement le chauffe-eau, le lave-linge, la bouilloire, le lave-vaisselle et la machine à café.

Comme indiqué en partie 4.2, en se basant sur les données issues des études (Annexe 3 : Données d'impact et hypothèses employées), nous avons considéré la consommation énergétique des équipements linéairement dépendante de la dureté ($R^2 \sim 1$). Ces études ayant été effectuées au Danemark, il a fallu extrapoler les données au cas de la France avant toute exploitation. Ceci concernait la fréquence d'utilisation des équipements et la couverture des usagers en France.

Un autre facteur important est l'impact de l'eau dure sur la consommation d'énergie des chauffe-eaux, bien que l'effet du tartre sur cette dernière diffère en fonction de la nature du chauffe-eau. Dans les chauffe-eaux électriques, le calcaire se dépose sur les surfaces intérieures (parois) ce qui réduit le volume d'eau contenu, et amène donc une modification du fonctionnement de l'appareil. La consommation électrique n'est, dans ce cas-là, pas impactée. Seul le temps nécessaire pour chauffer un volume donné d'eau sera rallongé, en raison de la réduction du volume d'eau chauffé par la résistance, sur laquelle le tartre ne se déposera pas. La présence de calcaire sur les parois implique cependant une maintenance plus régulière, ou un remplacement de l'appareil.

En revanche, dans le cas des chauffe-eaux à combustible (notamment à gaz, au bois et au fioul), la chaleur étant transmise via un serpentin dans lequel l'eau circule en circuit fermé, l'entartrage de ce dernier entraîne une baisse du rendement énergétique et donc une augmentation de la consommation d'énergie. Les deux paramètres impactés sont donc à la fois la consommation d'énergie et la durée de vie de l'équipement. Brazeau (2011), ont observé une réduction de l'efficacité des chauffe-eaux à gaz de 27-30 % en seulement quelques jours et les prédictions ont montré une réduction du rendement énergétique pouvant atteindre jusqu'à 95 %. Compte tenu de ces éléments, seuls les chauffe-eaux à combustible seront pris en compte dans l'évaluation des impacts du calcaire sur la consommation d'énergie des chauffe-eaux. Les chauffe-eaux électriques,

utilisés par 42 % des foyers français¹⁶, ne sont pas impactés en termes de consommation d'énergie.

Les hypothèses établies sont récapitulées dans le Tableau 7. Elles ont été formulées en se basant sur les données de l'ADEME¹⁷ et du Gifam^{16,18} :

Tableau 7 : Hypothèses associées aux usages domestiques de l'eau

Poste de consommation	Couverture	Fréquence d'utilisation
Chauffe-eau à combustible	54%	7 fois par semaine
Lave-linge	100%	3,8 fois par semaine
Bouilloire	61%	7 fois par semaine
Lave-vaisselle	63%	3,19 fois par semaine
Machine à café	100%	7 fois par semaine

Les données de couverture et fréquences d'utilisations n'ont que peu variées depuis la précédente étude¹⁹. Seule l'augmentation de la couverture en chauffe-eau (54 %¹⁶ contre 47,4 % en 2019) est à noter, car leur consommation énergétique importante dans le foyer donne une influence notable à ce paramètre sur les résultats.

En tenant compte des fréquences d'utilisation, nous avons établi les équations suivantes (les graphiques détaillés sont présentés en Annexe 3 : Données d'impact et hypothèses employées) :

Tableau 8 : Corrélation entre consommation énergétique et dureté de l'eau

• Équipement	• Relations linéaires entre la consommation énergétique (annuelle) et la dureté
• Chauffe-eau à combustible	• $6,44.D + 1293$ (kWh/foyer/an) ²⁰
• Lave-linge	• $0,67.D + 150$ (kWh/foyer/an)
• Bouilloire	• $0,33.D + 76$ (kWh/foyer/an)
• Lave-vaisselle	• $0,92.D + 205$ (kWh/foyer/an)
• Machine à café	• $0,53.D + 120$ (kWh/foyer/an)

¹⁶ Etude Gifam Insights menée en avril 2021 auprès de 927 Français (hors parc et ventes)

¹⁷ ADEME, 2022, « Électricité : combien consomment les appareils de la maison ? » (Données 2020).

¹⁸ GIFAM, 2022, Conférence de presse (données 2021).

¹⁹ SEDIF (Anne-Laure COLON) ; Deloitte Développement Durable (Sébastien SOLEILLE, Mary Ann KONG, Alima KOITE, Robert ANGOUILLANT) ; IRH Ingénieur Conseil (Thierry PICHARD), 2018. Bilan économique et environnemental relatifs au projet de décarbonation du SEDIF. 119 pages.

²⁰ Vince F., Vidal A., 2010. Influence du traitement de l'eau potable sur l'entartrage des ballons d'eau chaude sanitaire (ECS).

Le D représente la dureté de l'eau.

Pour chaque équipement, l'impact sur la consommation énergétique représente la différence entre la consommation annuelle actuelle (en fonction de la dureté actuelle des usines) et la consommation d'énergie à dureté cible (scénario A et B). Les résultats obtenus par foyer ont été évalués par personne en utilisant la donnée de l'INSEE (2,29 personnes en moyenne par foyer en Ile de France en 2019) ; puis par catégorie d'usagers (particuliers, gestionnaires d'immeuble et collectivités) à partir des données de consommation d'eau (Tableau 3) et en tenant compte des données de couverture des usagers par équipement (Tableau 5). Nous utilisons la formule suivante :

Calcul du gain énergétique par catégorie d'usagers

$$= \frac{\text{Gain énergie (par foyer)} * \% \text{ Ceau particuliers} * \text{nb habitant} * \% \text{ couverture d'usage}}{\text{nb de personne par foyer}}$$

- %C_{eau} particuliers = Part de Volume d'eau consommée par les particuliers (Tableau 3)

Cette méthode de calcul a été utilisée pour chaque catégorie, puis l'impact total par usine a été estimé en additionnant ces valeurs. À partir des données par usine, l'impact sur l'ensemble du territoire a été évalué en additionnant les impacts sur les usines.

À noter que pour évaluer l'impact sur les collectivités, nous avons considéré que celles-ci n'utilisent pas de lave-linge, ni de lave-vaisselle. En effet, les collectivités utilisent l'eau pour alimenter principalement leurs bureaux et leurs locaux d'accueil du public. Les principaux usages sont donc l'alimentation (comprenant l'utilisation de machine à café et de bouilloire), et les sanitaires. Il existe d'autres usages notamment dans les hôpitaux, les écoles, l'arrosage des terrains de sport, le nettoyage des rues, les piscines, etc. Mais les impacts sur ces postes sont, soit peu significatifs (arrosage de terrains, nettoyage de rue, etc.), soit très souvent qualitatifs (impact de l'eau de piscine sur la peau, etc.). Dans le cas particulier des écoles et hôpitaux, il nous a été impossible d'obtenir la couverture de ces établissements par les équipements électroménagers. En revanche nous avons estimé que certains établissements des collectivités sont équipés de chauffe-eau, en faisant l'hypothèse que les collectivités utilisent le même système de chauffage que le résidentiel. Les équipements ayant été considérés pour cette catégorie sont donc : la machine à café, la bouilloire et le chauffe-eau.

3.1.1.2 Résultats

Ces résultats montrent que la décarbonatation collective permettrait une diminution du dépôt de tartre dans les équipements ménagers (électroménagers et certains chauffe-eaux à combustible) entraînant une réduction de leur consommation d'énergie.

Les Tableau 9, Tableau 10, Tableau 11, Tableau 12 et Tableau 13 présentent l'impact des scénarios de dureté sur la consommation énergétique des équipements (lave-linge, lave-vaisselle, chauffe-eau, bouilloire, machine à café), par foyer.

Tableau 9 : Impact des scénarios – consommation énergétique du lave-linge

Scenario de dureté	Gain par foyer			Gain total
	8 °f	10 °f	12 °f	10 °f
TOTAL Territoire	6,3	5,5	4,7	10 414 731
	kWh/foyer/an	kWh/foyer/an	kWh/foyer/an	kWh/an

Tableau 10 : Impact des scénarios – consommation énergétique du lave-vaisselle

Scenario de dureté	Gain par foyer			Gain total
	8 °f	10 °f	12 °f	10 °f
TOTAL Territoire	5,4	4,7	4,0	8 998 074
	kWh/foyer/an	kWh/foyer/an	kWh/foyer/an	kWh/an

Tableau 11 : Impact des scénarios – consommation énergétique du chauffe-eau à combustible

Scenario de dureté	Gain par foyer			Gain total
	8 °f	10 °f	12 °f	10 °f
TOTAL Territoire	53,0	46,1	39,1	87 533 857
	kWh/foyer/an	kWh/foyer/an	kWh/foyer/an	kWh/an

Tableau 12 : Impact des scénarios – consommation énergétique de la bouilloire

Scenario de dureté	Gain par foyer			Gain total
	8 °f	10 °f	12 °f	10 °f
TOTAL Territoire	2,7	2,4	2,0	4 467 353
	kWh/foyer/an	kWh/foyer/an	kWh/foyer/an	kWh/an

Tableau 13 : Impact des scénarios – consommation énergétique de la machine à café

Scénario de dureté	Gain par foyer			Gain total
	8 °f	10 °f	12 °f	10 °f
TOTAL Territoire	4,4	3,8	3,3	7 296 572
	kWh/foyer/an	kWh/foyer/an	kWh/foyer/an	kWh/an

3.1.1.3 Résultats globaux

La décarbonatation collective permettrait donc aux usagers de faire une économie d'énergie totale sur la consommation énergétique des appareils domestiques de plus de **118 710 MWh/an** sur l'ensemble du territoire si l'on considère une dureté cible de 10 °f (somme des gains totaux des différents appareils domestiques). Cette économie énergétique est plus élevée que celle réalisée avec une dureté cible de 12°f (100 854 MWh/an), et plus faible comparée au gain énergétique correspondant à une dureté cible de 8 °f (136 567 MWh/an) (Tableau 14).

Dans tous les scénarios, cette réduction de la consommation énergétique est plus significative pour les chauffe-eaux qui représentent environ 60 % de l'énergie consommée.

Tableau 14 : Gains énergétiques totaux, sur l'ensemble du territoire du SEDIF

	Gain par foyer (kWh/foyer/an)		
	Scénario 8°f	Scénario 10°f	Scénario 12°f
TOTAL territoire	71,8 kWh/foyer/an	62,5 kWh/foyer/an	53,1 kWh/foyer/an
	Gain total (kWh/an)		
	Scénario 8°f	Scénario 10°f	Scénario 12°f
TOTAL territoire	136 567 133 kWh/an	118 710 587 kWh/an	100 854 041 kWh/an

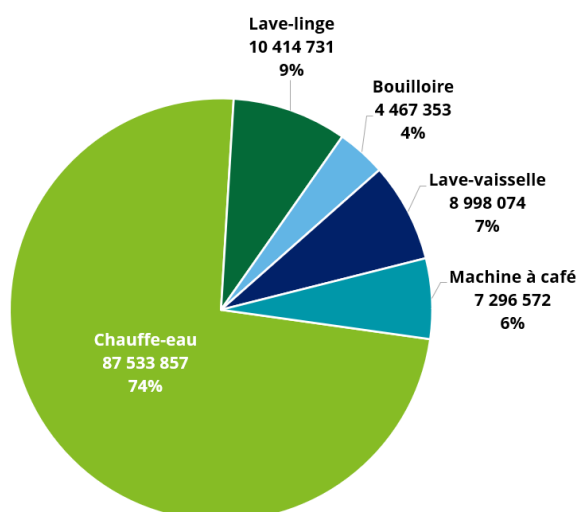


Figure 4 : Réduction de la consommation énergétique par équipements (kWh/an)

En étudiant les gains énergétiques par catégorie d'usagers, on remarque que les économies sont beaucoup plus significatives pour les gestionnaires d'immeuble. Ce qui est cohérent puisque cette catégorie représente la majorité des usagers du SEDIF.

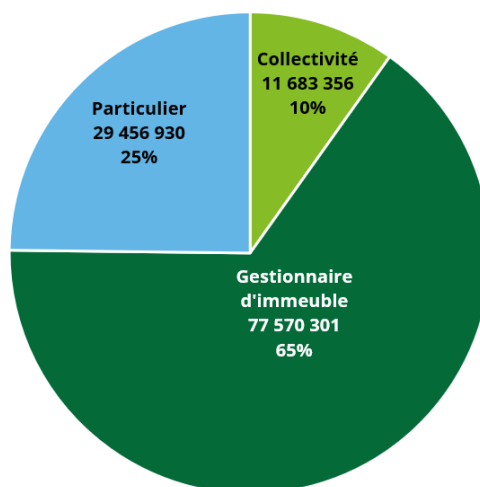


Figure 5 : Économies d'énergie (kWh/an), par catégorie d'usager, pour un scénario de dureté de 10 °f

3.1.2 Durée de vie des équipements

3.1.2.1 Méthode de calculs

Une eau dure peut former du calcaire et encrasser les équipements et les canalisations, en particulier si elle est chauffée. Les équipements tels que le lave-linge, la bouilloire, le lave-vaisselle ou le chauffe-eau se dégradent ainsi plus rapidement lorsque la dureté de l'eau augmente. En limitant l'entartrage, la décarbonatation entraînerait un prolongement de la durée de vie opérationnelle de ces équipements.

Afin de quantifier l'impact du projet de décarbonatation sur la durée de vie de ces équipements, nous avons procédé de la même manière que pour la consommation énergétique. Cet indicateur a été évalué en faisant la différence entre la durée de vie actuelle des équipements (en fonction de la dureté actuelle des usines) et la durée de vie aux duretés suivantes : 8°f, 10°f et 12°f. Les équations ayant servi pour le calcul, sont présentées dans le Tableau 15.

À noter que la durée de vie de l'ensemble des chauffe-eaux est impactée par le calcaire, ainsi un taux de couverture de 100 % (54 % de chauffe-eaux à combustible²¹) a été utilisé pour quantifier les bénéfices de l'évitement de la réduction de la durée de vie des chauffe-eaux liée au calcaire présent dans l'eau.

²¹ Etude Gifam Insights menée en avril 2021 auprès de 927 Français (hors parc et ventes)

Tableau 15 : Corrélation entre la durée de vie des équipements et la dureté de l'eau

• Relations linéaires en fonction de la dureté (en années)	
• Durée de vie du chauffe-eau	• $-0,14.D + 15^{22}$
• Durée de vie du lave-linge	• $-0,37.D + 24^{23}$
• Durée de vie de la bouilloire	• $-0,41.D + 22^{23}$
• Durée de vie du lave-vaisselle	• $-0,34.D + 22,5^{23}$
• Durée de vie de la machine à café	• $-0,41.D + 22^{23}$

3.1.2.2 Résultats

Le Tableau 16 résume les impacts des scénarios de dureté sur la durée de vie des équipements, selon les données de l'étude de DTU Management (Tableau 15).

Comme l'indiquent les résultats, l'évitement de la réduction de la durée de vie est plus marqué avec un scénario de dureté de 8°f plutôt que 10°f et 12°f, et diffère selon les usines évaluées, car les estimations sont basées sur les duretés d'entrées actuelles de chaque usine. Globalement, les résultats indiquent un évitement de la réduction de la durée de vie variant de 1 et 2 ans selon l'équipement, l'usine et le scénario de dureté.

Tableau 16 : Impact des scénarios – durée de vie équipements

Dureté	Scénario 8°f	Scénario 10°f	Scénario 12°f
Chauffe-eau	+ 1,8 ans	+ 1,6 ans	+ 1,4 ans
Lave-Linge	+ 2 ans	+ 2 ans	+ 1,9 ans
Lave-vaisselle	+ 2 ans	+ 2 ans	+ 2 ans
Bouilloire	+ 1 ans	+ 1 ans	+ 1 ans
Machine à café	+ 1 ans	+ 1 ans	+ 1 ans

Comme dans le précédent rapport¹, les gains sur la durée de vie ont été plafonnés : le plafond appliqué volontairement dans le tableau précédent est de **2 ans** pour les gros équipements notamment le lave-vaisselle, le lave-linge et le chauffe-eau, et **1 an** pour les petits électroménagers comme la bouilloire et la machine à café, quel que soit le scénario de dureté.

²² Selon les données issues de l'étude réalisée par WQRF, 2011. "Softened Water Benefits Study –Energy savings and detergent savings".

²³ Selon les formules employées dans l'étude de DTU management, 2009. "Life Cycle Assessment on Central Softening of Drinking Water in Copenhagen".

En effet, de nombreuses raisons non liées à l'entartrage peuvent amener l'utilisateur à remplacer ses appareils : le prix, la défaillance technique du produit ou le désir de posséder un nouvel article doté de nouvelles fonctionnalités ou conforme aux dernières tendances. Par conséquent, si la qualité technique de ces produits est le principal déterminant de leur durée de vie, la préférence des consommateurs a également une influence²⁴. De plus, l'utilisation de sels anticalcaires pour les lave-linges et lave-vaisselles est fortement répandue, ce qui réduit le remplacement de ces équipements à cause de l'entartrage. L'utilisation de ces sels n'a pas été quantifiée dans le cadre de cette étude.

3.1.3 Volume de déchets générés par l'achat de bouteilles d'eau

3.1.3.1 Méthode de calculs

Une proportion non négligeable d'utilisateurs ne consomme pas l'eau du robinet pour de nombreuses raisons, en particulier, à cause de sa teneur en calcaire. Selon les enquêtes de satisfaction nationales du CIEAU²⁵, la présence de calcaire dans l'eau n'inspire pas confiance à certains consommateurs, qui préfèrent l'eau en bouteille. Ceci n'est pas sans conséquence, puisque la consommation d'eau en bouteille génère une grande quantité de déchets (environ 150 000 tonnes d'emballages par an²⁶). La décarbonatation pourrait donc potentiellement augmenter le nombre de personnes buvant l'eau du robinet à la place de l'eau embouteillée et ainsi réduire le volume de déchets de bouteilles en plastique. Ce paramètre a été évalué uniquement pour : les particuliers vivant dans des maisons individuelles (catégorie d'utilisateur correspondant aux des particuliers), les particuliers vivant dans des immeubles collectifs (catégorie d'utilisateur correspondant aux gestionnaires d'immeubles) et les collectivités (notamment les écoles, bureaux, etc.).

La part de consommateurs susceptibles de changer leurs habitudes de consommation d'eau du robinet a été évaluée en se basant sur les résultats d'une enquête nationale récente du CIEAU, réalisée en 2022²⁷. Notre méthode de calcul s'appuie le raisonnement suivant :

- L'enquête du CIEAU fournit les données suivantes :
 - 47% : la part **A1** des Français qui boivent de l'eau en bouteille tous les jours.
 - 52% : la part **A2** des Français qui boivent de l'eau en bouteille parce qu'ils considèrent l'eau du robinet trop calcaire.
 - 57% : la part **B1** des Français qui boivent de l'eau en bouteille pour des raisons qui ne changeront pas malgré un projet de décarbonatation (goût, habitude, etc.).
- En multipliant les parts **A1** et **A2**, on obtient la part des Français qui boivent de l'eau en bouteille car l'eau du robinet est trop calcaire qui représente donc 24%, nommée **A**.
- En soustrayant la part **B1** à 100 %, on obtient la part des Français qui ne boivent l'eau en bouteille pour des raisons qui peuvent évoluer avec les travaux du SEDIF (confiance et calcaire), nommée **B**.
- Enfin, si nous multiplions les parts **A** et **B**, nous obtenons un pourcentage estimé des consommateurs qui pourraient être prêts à passer de l'eau en bouteille à l'eau du robinet après des travaux de décarbonatation, égal à **10,5 %**.

La réduction du volume de déchets a ensuite été estimée sur la base de la quantité moyenne de déchets générés par la consommation d'eau en bouteille, soit environ 10 kg/an/personne de

²⁴ EEA, 2017. « Circulaire par conception, produits dans l'économie circulaire ».

²⁵ CIEAU, 2022. Les Français et l'eau - Enquête nationale.

²⁶ Novethic, 27 mars 2018, « Eau du Robinet et Eau en Bouteille sur le ring de l'Ecologie ». Disponible à l'adresse : www.novethic.fr/actualite/infographies/isr-rse/infographie-eau-du-robinet-et-eau-en-bouteille-sur-le-ring-de-l-ecologie-145618.html

²⁷ Le baromètre d'eau de paris donne des informations similaires.

déchets²⁶, et le nombre d'abonnés en plus susceptibles de consommer l'eau du robinet après la mise en place de la décarbonatation collective (10,5% des abonnés).

Calcul du volume de déchets générés par l'achat de bouteilles d'eau – exemple pour le secteur desservi par l'usine de Choisy-le-Roi

$$= Nb \text{ habitants} * (\%C_{\text{eau particuliers}} + \%C_{\text{eau gestionnaires immeuble}}) * 10,5\% * 10(kg/an/pers)$$

- **%C_{eau particuliers}** : Part de Volume d'eau consommée par les particuliers de l'usine de Choisy-le-Roi (Tableau 4).
- **%C_{eau gestionnaires immeuble}** : Part de Volume d'eau consommée par les particuliers de l'usine de Choisy-le-Roi (Tableau 4).

3.1.3.2 Résultats

On estime qu'une certaine partie des consommateurs abandonnera les bouteilles d'eau en faveur de l'eau du robinet à partir d'un TH moyen inférieur à 15 °f. Par conséquent, les résultats récapitulés dans le Tableau 17 sur la réduction du volume de déchets en bouteilles d'eau sont les mêmes dans les deux scénarios de dureté, mais varient en fonction de l'usine (et selon le nombre d'utilisateurs desservis). La décarbonatation permettrait donc une réduction des déchets de **3 385 tonnes/an** quel que soit le scénario de dureté cible.

Tableau 17 : Impacts des scénarios de dureté sur le volume des déchets, en considérant que 10,5 % des usagers sont susceptibles d'utiliser l'eau du robinet plutôt que les bouteilles en plastique (t/an de bouteille plastique)

Usine	Choisy-le-Roi	Neuilly-sur-Marne	Mery-sur-Oise	TOTAL
Réduction de la quantité de bouteilles plastiques	-1 443 tonnes/an	-1 301 tonnes/an	-741 tonnes/an	-3 485 tonnes/an

Ces résultats dépendent fortement de la part d'utilisateurs réellement prêts à passer de la consommation d'eau en bouteilles plastiques vers la consommation d'eau du robinet, d'une part, et de l'accompagnement au changement réalisé par le SEDIF d'autre part.

Actuellement, aucune étude précise n'a été réalisée à ce sujet, et nous ne pouvons donc pas confirmer par une source externe fiabilisée le chiffre de 10,5 %. Afin d'évaluer l'impact que peut avoir cette hypothèse, nous avons fait une seconde simulation en limitant cet effet le pourcentage atteignable à l'échelle du SEDIF. Il est donc proposé de raisonner en fourchette, en considérant 10,5 % comme une fourchette haute et 5 % comme une fourchette basse, pour mesurer la variabilité induite par ce facteur. Dans le cas où seulement 5 % des consommateurs de bouteilles plastiques s'orienteraient vers l'eau du robinet, la décarbonatation permettrait une réduction des déchets de **1 741 tonnes/an sur l'ensemble du territoire du SEDIF, quel que soit le scénario de dureté cible.**

Tableau 18 : Impacts des scénarios de duresté sur le volume des déchets, en considérant que 5% des usagers sont susceptibles d'utiliser l'eau du robinet plutôt que les bouteilles en plastique (t/an de bouteille plastique)

Usine	Choisy-le-Roi	Neuilly-sur-Marne	Mery-sur-Oise	TOTAL
Réduction de la quantité de bouteilles plastiques	-687 tonnes/an	-619 tonnes/an	-352 tonnes/an	-1 658 tonnes/an

3.1.4 Consommation de produits d'hygiène et d'entretien

Les produits d'entretien couverts par cet indicateur et leurs postes de consommation respectifs sont la lessive (pour le linge), le produit vaisselle (pour la vaisselle) et le savon corporel (pour l'hygiène personnelle).

Il est à noter que les consommations de tout autre produit dont le dosage est lié à la duresté de l'eau, notamment les adoucissants et les produits anticalcaires, n'ont pas été étudiées dans les publications analysées et ne sont donc pas évaluées ici.

3.1.4.1 Méthode de calcul

L'eau dure réduit le pouvoir moussant et nettoyant des savons et des détergents en les faisant précipiter, favorisant ainsi la consommation de ces produits. La décarbonatation collective, en atténuant la teneur en calcaire, permettrait donc une baisse de la consommation de détergents et savons en améliorant leur pouvoir moussant. En se basant sur les informations disponibles dans la littérature, nous avons établi les équations indiquées dans le Tableau 19 qui serviront à évaluer les impacts.

Les résultats obtenus en kg/an/foyer ont été rapportés à l'échelle de l'usine à partir des données de consommation d'eau (voir Tableau 4) et en prenant en compte uniquement les gestionnaires d'immeuble et les particuliers, car nous estimons que les collectivités utilisent très peu ces produits. A noter également que ces équations prennent en compte les fréquences d'utilisation de ces produits pour un foyer moyen en France (voir Tableau 7 pour plus de détail).

Tableau 19 : Corrélation entre la consommation de produits d'entretien et la duresté

Produits d'entretien	Relations linéaires en fonction de la duresté de l'eau
• Lessive (kg/foyer/an)	• $0,24.D + 9$
• Produit vaisselle (kg/foyer/an)	• $0,004.D + 0,4$
• Savon corporel (kg/foyer/an)	• $0,09.D + 3,13$

3.1.4.2 Résultats

La réduction de la consommation des produits d'entretien selon l'intervalle de durestés cible et les usines, est présentée dans le Tableau 20. Les résultats montrent que la décarbonatation entraînerait en moyenne une réduction d'environ **9,6 kg par an par foyer** de la consommation de produits d'entretien sur l'ensemble du territoire du SEDIF pour une duresté de **10°f**. A l'échelle du territoire, cela correspond à une réduction de **18 500 tonnes par an**. Ce résultat est plus élevé que pour une duresté de 12°f qui présente une réduction de 8,1 kg/foyer/an, et plus faible que pour une duresté de 8°f qui présente une réduction de 11,2 kg/foyer/an. La lessive et le savon corporel sont

les plus impactés en termes de quantité. Il est important de noter que la réduction des volumes de produits d'entretien peut correspondre à l'évitement d'une importante quantité de déchets d'emballage, dont les emballages plastiques. **Cependant, la diversité de ces types d'emballage rend difficile leur prise en compte dans notre calcul de la réduction des déchets plastiques en conséquence de la décarbonation. Il a donc été décidé de ne pas les intégrer dans celui-ci.**

Tableau 20 : Réduction (kg/foyer/an) de volume des produits d'entretien, pour les différents produits d'entretien.

Dureté	Scenario 8°f	Scenario 10°f	Scenario 12°f
Lessive	-9,8 kg/foyer/an	-8,5 kg/foyer/an	-7,1 kg/foyer/an
Produit vaisselle	-0,1 kg/foyer/an	-0,1 kg/foyer/an	-0,1 kg/foyer/an
Savon corporel	-1,2 kg/foyer/an	-1,1 kg/foyer/an	-0,9 kg/foyer/an
TOTAL	-11,2 kg/foyer/an	-9,6 kg/foyer/an	-8,1 kg/foyer/an

3.1.5 Émissions de CO₂ du projet

3.1.5.1 Impact de la mise en place du traitement

La mise en place des membranes et leur exploitation pour la décarbonation de l'eau dans les trois usines du SEDIF ont un impact environnemental. Pour mesurer cet impact, leur empreinte carbone a été estimée dans cette partie. L'estimation de l'empreinte carbone prend en compte la construction des bâtiments dédiés à la décarbonation, nécessaire seulement pour les usines de Choisy-le-Roi et Neuilly-sur-Marne, ainsi que l'exploitation des trois usines.

Pour la construction des bâtiments pour les membranes, une estimation a été faite en se basant sur le facteur d'émission proposé par l'ADEME dans la base carbone pour la construction d'un site industriel. Ce facteur a ensuite été appliqué à la surface considérée, fournie par le SEDIF, pour le projet de construction pour les usines de Choisy-le-Roi et Neuilly-sur-Marne, en considérant un amortissement des usines sur 40 ans.

Pour l'exploitation des usines, les paramètres qui ont été considérés sont : l'utilisation des membranes, de leur production à leur fin de vie par enfouissement ; la consommation de réactifs, de leur production à leur fin de vie, et le traitement des boues en sortie de procédé. Des facteurs d'émissions, issus de la base de données Ecoinvent, ont ensuite été appliqués aux différentes quantités associées à ces différents paramètres pour obtenir les émissions de CO₂eq issus de ces différentes sources.

L'ensemble des données utilisées, comprenant les données d'usines mises à disposition par le SEDIF et les facteurs d'émissions issus des bases de données de références, sont récapitulées dans la partie Annexe (Tableau 31).

Il a été confirmé par le SEDIF qu'il n'y a pas d'émissions directes de CO₂ ou de CH₄ liées directement aux déchets calcaires. De plus, l'empreinte carbone est calculée avec l'hypothèse qu'il n'y a aucune fuite dans le système de traitement d'eau.

Les résultats de cette estimation sont présentés ci-dessous (Figure 6). Il est à noter que la construction des bâtiments dans les deux usines de Choisy-le-Roi et Neuilly-sur-Marne, n'est

significativement pas impactante en comparaison aux autres paramètres de fonctionnement de l'usine. En effet, celle-ci est amortie sur 40 ans, et ne représente donc que 0,08% de l'impact environnemental global de la mise en place de la décarbonatation collective sur une année. Ainsi, l'estimation globale de l'impact environnemental de la décarbonatation collective s'élève à **12 281 tCO₂eq par an**.

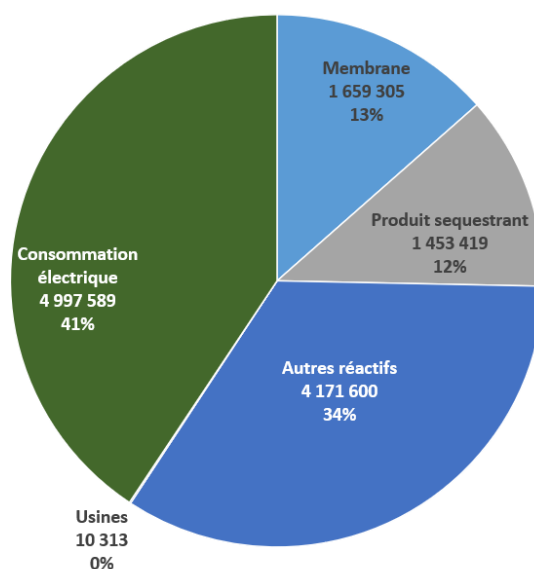


Figure 6 : Répartition des impacts environnementaux des différentes sources liées à la mise en place de la décarbonatation collective (en kg CO₂eq)

3.1.5.2 Impact du traitement

3.1.5.2.1 Méthode de calculs

Les facteurs d'émissions considérés pour évaluer l'empreinte carbone sont la consommation d'énergie électrique, la durée de vie des équipements, la consommation d'eau en bouteille mais également la consommation de produits d'entretien et l'utilisation d'adoucisseurs individuels.

Les émissions de CO₂ liées à l'utilisation d'adoucisseurs individuels proviennent de la consommation de sels d'adoucissement et de la consommation énergétique des adoucisseurs. Cependant, de manière générale, les adoucisseurs d'eau consomment très peu d'énergie. Pour des modèles de contenance 20 L, l'énergie consommée peut être estimée à une moyenne de 25 kWh/an. En ce qui concerne la consommation de sels d'adoucissement, il nous était impossible de l'évaluer du fait du manque de données. En effet, il aurait fallu trouver des publications qui estiment les économies de sels de régénération que réalisent les ménages disposant d'adoucisseurs individuels à la suite de la mise en œuvre de la décarbonatation collective. Ce facteur d'émissions n'a donc pas été évalué.

Émissions de CO₂ liées à la consommation énergétique des équipements : Les émissions de CO₂ sont directement liées à la consommation énergétique des équipements domestiques (le chauffe-eau à combustibles uniquement et les équipements électroménagers) ; plus elle diminue plus les émissions de CO₂ générées lors de la production d'électricité sont faibles. Cette part d'émissions de CO₂ a donc été évaluée à partir des gains énergétiques présentés en section 4.1.1, selon l'hypothèse qu'1 kWh correspond à 56,9 gCO₂eq.

Émissions de CO₂ liées à la durée de vie des équipements : Un autre facteur ayant un impact significatif sur le bilan carbone des ménages est la durée de vie des équipements domestiques.

Plus la durée de vie est courte, plus les usagers achètent – ce qui génère plus de CO₂. Les émissions de CO₂ liées à ce facteur ont été évaluées en tenant compte des résultats sur le prolongement de la durée de vie des équipements présentés en Annexe 3 : Données d'impact et hypothèses employées et en utilisant des données d'analyse de cycle de vie (ACV) disponibles dans la littérature (études européennes préparatoires à la directive Écoconception –EuP/ErP). Le Tableau présente la quantité de CO₂ générée hors phase d'utilisation par le consommateur, la phase d'utilisation étant déjà évaluée via la consommation d'énergie des équipements. L'ensemble des chauffe-eaux a été pris en compte pour la quantification de ce paramètre, en supposant que la durée de vie de tous les chauffe-eaux est impactée par l'entartrage.

Tableau 21 : Quantité de CO₂ générées par les équipements (hors phase d'utilisation)

Équipement	Quantité de CO ₂ générée, hors phase d'utilisation (ACV)
Chauffe-eau	186,0 kgCO ₂ eq ²⁸
Lave-linge	180,5 kgCO ₂ eq ²⁹
Bouilloire	44,0 kgCO ₂ eq ³⁰
Lave-vaisselle	168,9 kgCO ₂ eq ³¹
Machine à café	20,0 kgCO ₂ eq ³²

À noter également que les ACV, issues de la littérature, ont été extrapolées au territoire du SEDIF :

- Chauffe-eau : les émissions de CO₂ correspondent à celles d'un chauffe-eau d'une capacité de 150L (capacité d'un chauffe-eau pour un foyer de 2,29 personnes) ;
- Lave-linge : les émissions de CO₂ correspondent à celles d'un lave-linge d'une capacité de 5 kg (capacité moyenne pour un foyer de 2,29 personnes par lavage) ;
- Lave-vaisselle : les émissions de CO₂ correspondent à celles d'un lave-vaisselle d'une capacité de 9 couverts (capacité moyenne pour un foyer de 2,29 personnes).

Émissions de CO₂ liées à la consommation de produits d'entretien : Les émissions de CO₂ liées à la consommation de savon et de détergents ont été évaluées à partir des économies de produits évaluées en Annexe 3 : Données d'impact et hypothèses employées et des données de la base IMPACT³³. En effet plus les usagers réduisent leur consommation de produits, moins il y'aura de CO₂ provenant de la fabrication, du transport et de l'utilisation de ces produits. Le Tableau présente les quantités de CO₂ générées par la consommation des produits étudiés (pour 1 kg de produit).

Il est à noter que le facteur d'émission pour la lessive correspond à un lavage à basse température, avec un mix 50/50 liquide/solide. Pour le savon, le facteur d'émission correspond à une moyenne des données pour le savon solide, savon liquide et shampoing. **Pour ces deux produits**

²⁸ Ecoinvent.

²⁹ Preparatory Studies for Ecodesign Requirements of EuPs: https://www.eup-network.de/fileadmin/user_upload/Task_5_Definition_of_Base_Case.pdf.

³⁰ Recommendations for the development of eco-design regulations in the European Union: https://www.academia.edu/35526927/Life_cycle_environmental_evaluation_of_kettles_Recommendations_for_the_development_of_eco-design_regulations_in_the_European_Union.

³¹ Preparatory Studies for Ecodesign Requirements of EuPs : F

³² Preparatory Studies for Ecodesign Requirements of EuPs: http://www.balas.org/BALAS_2013_proceedings_data/data/documents/p639212.pdf.

³³ Base impact, ADEME, version 2.02.

d'entretiens, ces facteurs d'émissions ne prennent pas en compte les émissions liées à l'emballage des produits, que nous n' avons pas pris en compte dans notre étude.

Tableau 22 : Quantité de CO₂ générées par les produits d'entretien (ADEME, base impact, 2022)

Produits	Quantité de CO ₂ générées
Lessive en poudre	1,07 kgCO ₂ eq/kg produit
Produit vaisselle	1,5 kgCO ₂ eq/kg produit
Savon	0,79 kgCO ₂ eq/ kg produit

Émissions de CO₂ liées à la consommation de bouteilles d'eau : Les émissions de CO₂ liées à ce facteur ont été évaluées en tenant compte de notre hypothèse sur la réduction dans la quantité de déchets générés par la consommation de bouteilles d'eau (voir 3.1.3), à la suite de la mise en œuvre de la décarbonatation. La méthode de calcul intègre également le facteur d'émission de gaz à effet de serre d'une bouteille d'eau en PET : volume = 1,5 litres (37 g) avec un potentiel de réchauffement climatique de 0,59 kgCO₂eq³⁴.

3.1.5.2.2 Résultats

Émissions de CO₂ liées à la consommation d'énergie des équipements : La Figure 7 présente les résultats d'impact des scénarios de dureté cible sur les émissions de CO₂ (correspond aux émissions évitées) à la suite de la réduction de la consommation d'énergie des équipements. Dans le cas du scénario 10 °f : **6,7 kt CO₂eq** seraient évitées chaque année, à l'issue de la mise en place de la décarbonatation. Cette valeur est plus élevée que pour un scénario 12 °f, qui entraînerait une réduction de 5 739 tCO₂eq/an. A noter que seuls les chauffe-eaux à gaz et au fioul ont été pris en compte, étant donné que la consommation d'énergie des chauffe-eau électriques n'est pas impactée par le calcaire, comme expliqué en section 3.1.1.

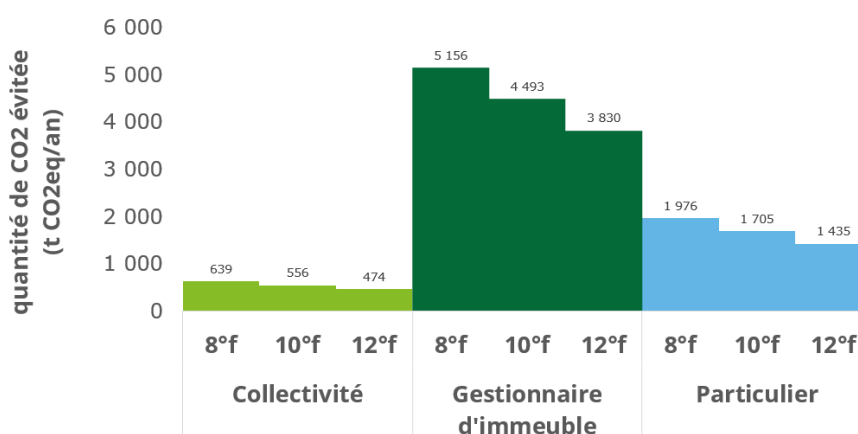


Figure 7 : Impact des scénarios de dureté sur les émissions de CO₂ liées à la consommation d'énergie des équipements domestiques

Émissions de CO₂ liées à la durée de vie des équipements : Ces émissions de CO₂ proviennent de l'extraction et la transformation des matériaux utilisés pour la phase de conception, la production de l'équipement, la distribution et l'élimination en fin de vie. La phase d'utilisation n'est pas considérée ici, car elle est déjà prise en compte dans le calcul de la consommation d'énergie

³⁴ ADEME, Base Carbone, 2022.

(les émissions de CO₂ provenant de la phase d'utilisation des équipements sont principalement dues à la consommation d'énergie).

La Figure 8 présente l'impact des scénarios de dureté sur les émissions de CO₂ liées à l'évitement de la réduction de la durée de vie opérationnelle des équipements, et montre un impact plus significatif pour une dureté de 8^{°f}. Dans le cas du scénario 10 ^{°f} : **7 193 tCO₂eq** seraient évitées chaque année, à l'issue de la mise en place de la décarbonation.

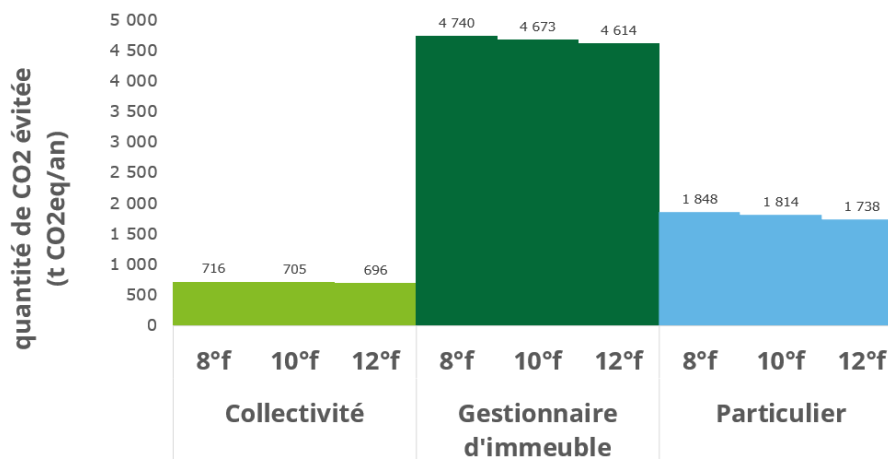


Figure 8 : Impact des scénarios de dureté sur les émissions de CO₂ liées à la durée de vie des équipements

Émissions de CO₂ liées à la consommation de produits d'entretien : La décarbonation collective entrainerait une réduction de la consommation de produits d'entretien et donc de son empreinte carbone. Ces émissions de CO₂ proviennent de la production des matières premières et les transports associés. En effet, l'impact des emballages plastiques et ceux liés à l'utilisation des produits d'entretiens ne sont pas pris en compte dans les facteurs d'émissions utilisés.

La Figure 9 présente les résultats d'analyse des impacts, qui montrent un impact plus significatif pour une dureté de 8^{°f}. Dans le cas du scénario 10 ^{°f} : **18,6 ktCO₂eq** seraient évitées chaque année, à l'issue de la mise en place de la décarbonation.

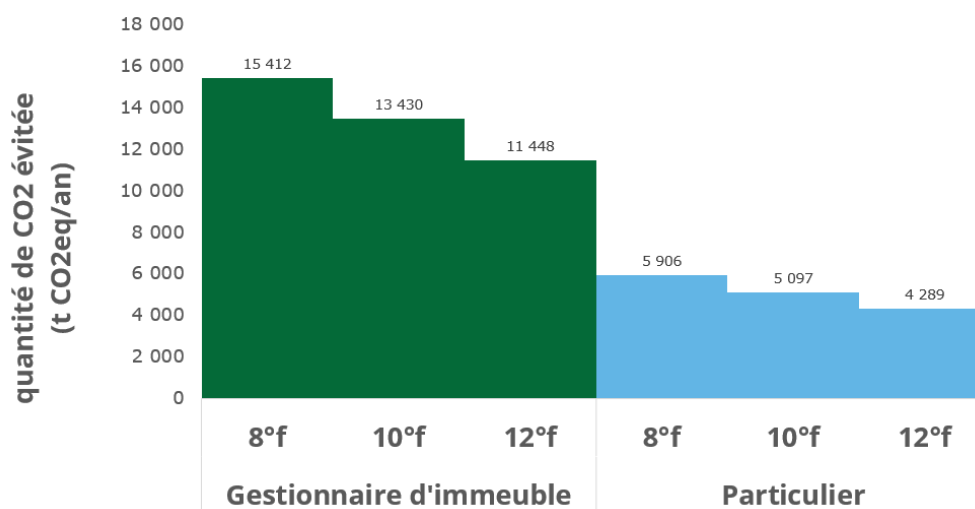


Figure 9 : Impact des scénarios de dureté sur les émissions de CO₂ liées à la consommation de produits d'entretien

Émissions de CO₂ liées à la réduction de la consommation de bouteilles d'eau : La décarbonatation collective permettrait une réduction des émissions de CO₂ liées à la réduction de la production et la consommation de bouteilles d'eau. En effet, comme indiqué précédemment, nous supposons que plus de consommateurs, par rapport à la situation actuelle, changeraient leurs habitudes en buvant plus fréquemment l'eau du robinet que l'eau en bouteille.

La Figure 10 présente les résultats d'analyse des impacts, qui montrent un impact plus significatif pour une dureté de 8°f. Pour tous les scénarios de dureté cible : **55,5 ktCO_{2e}** seraient évitées chaque année, à l'issue de la mise en place de la décarbonatation.

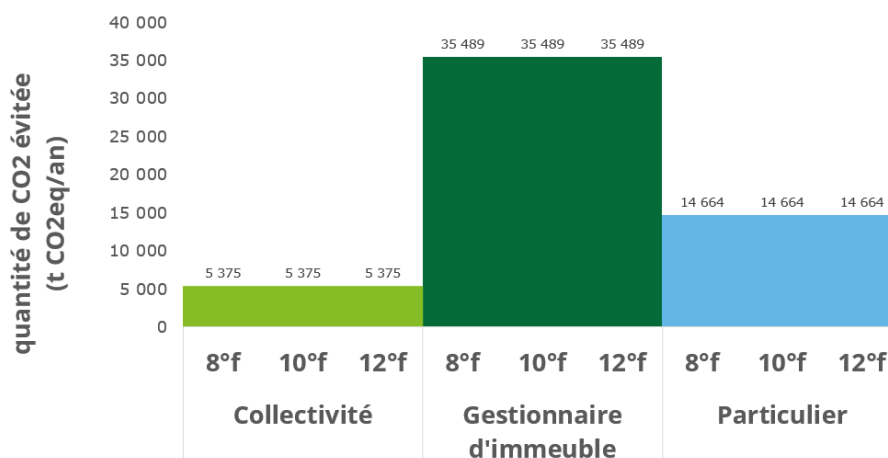


Figure 10 : Impact des scénarios de dureté sur les émissions de CO₂ liées à la réduction de la consommation de bouteilles d'eau

Ces résultats dépendent fortement du calcul de la part des usagers prêts à passer de la consommation d'eau en bouteilles plastiques à la consommation d'eau du robinet. Actuellement, aucune étude n'a été réalisée à ce sujet, et nous ne pouvons donc pas confirmer par une source fiable le chiffre de 10,5 %, calculé dans la partie 3.1.3. Il est donc proposé de raisonner en fourchette, en considérant 10,5 % comme une fourchette haute et 5 % comme une fourchette basse.

Dans le cas où seulement 5 % des consommateurs de bouteilles plastiques s'orientaient vers l'eau du robinet, la décarbonatation permettrait une réduction des déchets de **26,2 ktCO_{2e}** seraient évitées chaque année (Figure 11).

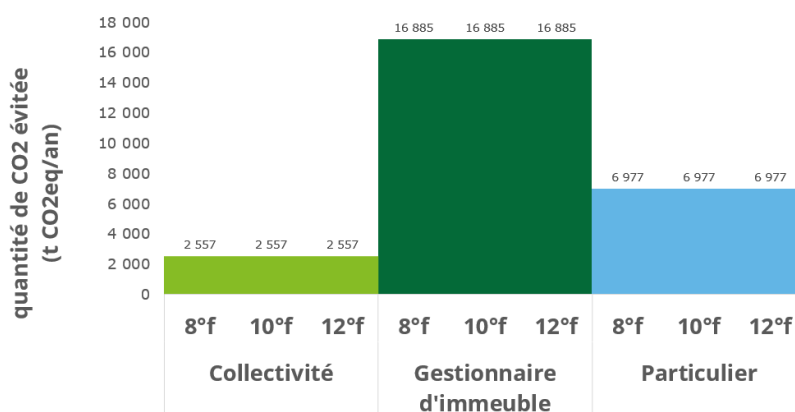


Figure 11 : Impact des scénarios de dureté sur les émissions de CO₂ liées à la réduction de la consommation de bouteilles d'eau (fourchette basse)

3.1.5.2.3 Résultats globaux pour les trois usines évaluées

La Figure 12 récapitule l'impact de la décarbonatation sur les émissions de CO₂, pour un scénario de dureté de 10°f et en fonction des différents leviers de réduction. Une réduction annuelle de **296 345 tCO₂eq** des émissions de CO₂ a été estimée en considérant une dureté finale de 10°f. Ce chiffre est à prendre avec précaution, une marge d'erreur étant associée au fait que des hypothèses ont dû être formulées pour l'évaluation de certains indicateurs.

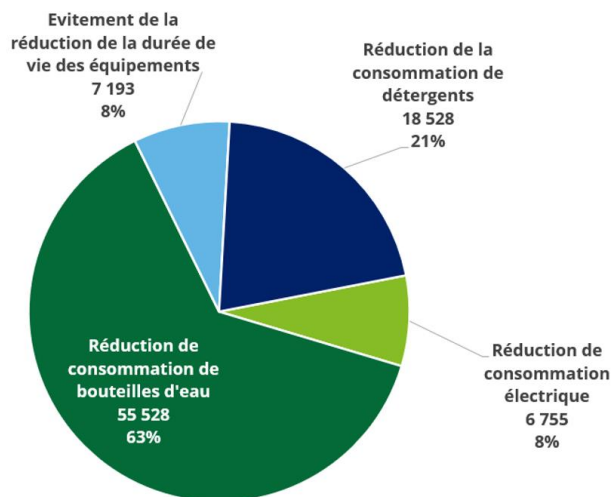


Figure 12 : Réduction des émissions de CO₂ (tCO₂eq/an) pour un scénario de dureté de 10°f, en fonction des leviers de réduction

Cette analyse montre qu'une grande partie de la réduction des émissions de CO₂ est due à l'évitement de la réduction de la durée de vie des équipements (près de 80 % des émissions évitées), suivi de la réduction de consommation de bouteilles d'eau plastiques (14 %).

Aussi, peut-on considérer que le calcul de la part des usagers susceptibles de consommer l'eau du robinet plutôt que de l'eau en bouteille à la suite du projet de décarbonatation est discutable. Pour cette raison, nous avons aussi quantifié l'évitement des émissions de CO₂ liée à la réduction de la consommation en bouteille plastiques, avec une hypothèse plus conservatrice : 5 % des usagers prêts à remplacer leur consommation d'eau en bouteille par l'eau du robinet. En considérant cette fourchette basse, voici l'impact de la décarbonatation sur les émissions de CO₂ obtenu (Figure 13).

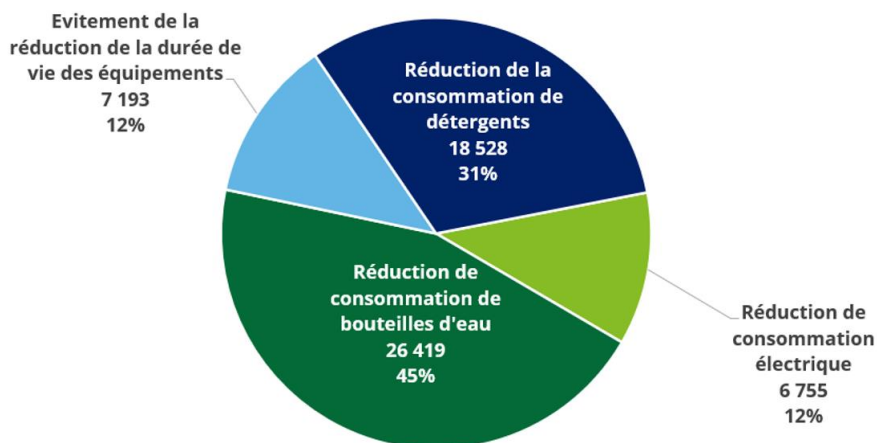


Figure 13 : Réduction des émissions de CO₂ (tCO₂eq/an) pour un scénario de dureté de 10°f, en fonction des leviers de réduction (fourchette basse)

3.1.6 Utilisation d'adoucisseurs individuels

Afin de limiter les désagréments liés à une eau très calcaire (dépôts de calcaire, séchage de la peau et cheveux, etc.) une grande partie des foyers en France utilisent des adoucisseurs individuels, et ce malgré les nombreux problèmes qu'ils peuvent engendrer. En plus des risques sanitaires liés à l'utilisation de ces appareils (contamination de l'eau, développement de pathogènes, modification des apports journaliers en sodium, etc.), leur utilisation peut avoir de nombreux impacts négatifs sur l'environnement, notamment le rejet de saumures dans les eaux usées, néfastes pour les nappes phréatiques. A noter que certains habitats collectifs sont équipés d'adoucisseurs d'eau destinés à adoucir l'eau de chauffage uniquement pour éviter l'entartrage du circuit de chauffage (et la réduction de la performance énergétique des chaudières), ceux-ci n'ont pas été évalués dans le cadre de cette étude.

La décarbonatation collective permettrait donc une baisse du pourcentage de foyers utilisant un adoucisseur individuel (11 % des français utilisaient un adoucisseur individuel en 2021³⁵) ainsi que le risque sanitaire et environnemental associé à l'utilisation de ces appareils.

3.2 Impacts socio-économiques

Les impacts socio-économiques relatifs à une eau dure couvrent les aspects tels que la satisfaction des consommateurs et les économies sur les achats de produits d'entretien, d'eau embouteillée et d'adoucisseurs individuels. Cette section présente les économies attendues du projet de décarbonatation collective du SEDIF pour les usages domestiques (sans prendre en compte les coûts de la mise en place, maintenance et exploitation des installations de décarbonatation, qui sont donnés en parallèle dans la partie Synthèses des résultats du bilan). Le bilan économique issu de l'analyse coûts et bénéfices est présenté dans la partie 4.2 de la synthèse des résultats et recommandations.

3.2.1 Gains liés à la réduction de la consommation d'énergie

Comme mentionné dans les sections précédentes, la décarbonatation collective permettrait une diminution du dépôt de tartre dans les équipements, entraînant une réduction de leur consommation d'énergie. Cela a un impact sur la facture d'électricité et représente des économies (en euros) non négligeables pour l'utilisateur.

3.2.1.1 Méthode de calcul

Les économies liées à la consommation énergétique ont été évaluées à partir des gains énergétiques engendrés par la mise en œuvre de la décarbonatation collective selon l'hypothèse qu'1 kWh en France coûte **0,174 € TTC**³⁶.

3.2.1.2 Résultats

La Figure 14 présente les économies (€/an) liées à la réduction de la consommation d'énergie des équipements, par catégorie d'utilisateurs. Le scénario 10 °f, avec des économies de **20,6 M€/an** permet d'économiser 2,5 M€/an de plus par rapport au scénario 12°f, dont les économies s'élèvent à 17,5 M€/an.

³⁵ CIEAU, 2021. Baromètre national.

³⁶ Tarif réglementé EDF pour un foyer moyen français en 2022.

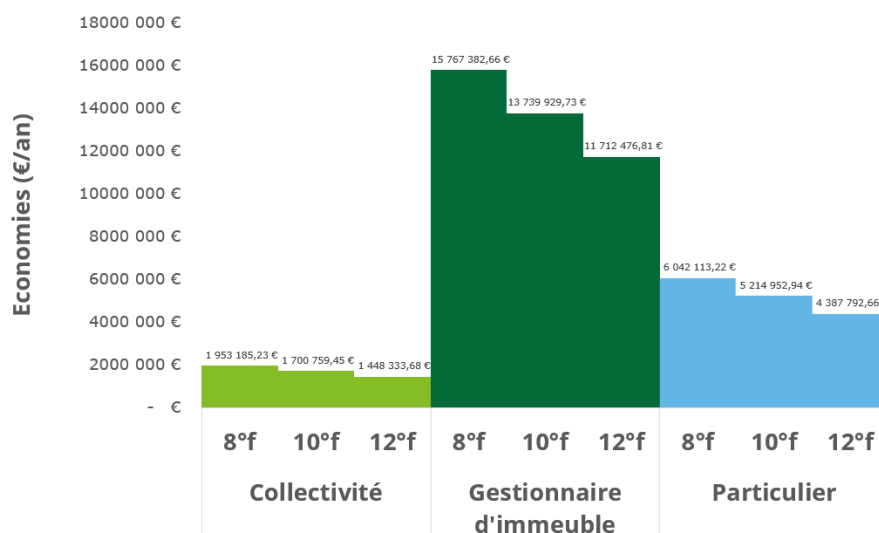


Figure 14 : Économies (€/an) liées à la réduction de la consommation énergétique

3.2.2 Gains liés au prolongement de la durée de vie des équipements

L'évitement de la réduction de la durée de vie des équipements permettrait de réduire la fréquence de remplacement de ceux-ci ainsi que leur maintenance, ceci représente des économies pour les usagers.

3.2.2.1 Méthode de calcul

Pour chaque équipement, les économies liées à l'évitement de la réduction de la durée de vie ont été estimées en faisant la différence entre le coût annuel sans décarbonation (situation actuelle) et le coût annuel après mise en œuvre de la décarbonation, avec différents scénarios de dureté cibles (8°f ; 10°f et 12°f).

Méthode de calcul des économies liées au prolongement de la durée de vie des équipements

- Le coût annuel à l'origine a été estimé comme suit :

$$\text{coût actuel (€/an)} = \frac{\text{coût à l'unité}}{\text{durée de vie initiale}}$$
- Le coût annuel après décarbonation a été estimé selon l'équation suivante :

$$\text{coût après décarbonation (€/an)} = \frac{\text{coût à l'unité}}{\text{durée de vie finale (initiale + impact)}}$$
- Économies: $\text{coût actuel} - \text{coût après décarbonation}$

Les prix moyens des équipements à l'achat sont disponibles en Annexe 2 : Valeurs de référence. Les durées de vie sont présentées dans les Tableau 15 et Tableau 16.

3.2.2.2 Résultats

La Figure 15 présente les résultats en €/an des économies liées au prolongement de la durée de vie des équipements. Ces économies prennent en compte uniquement l'achat des équipements. L'entretien et la réparation éventuelle des appareils n'ont pas été évalués du fait du manque de données disponibles.

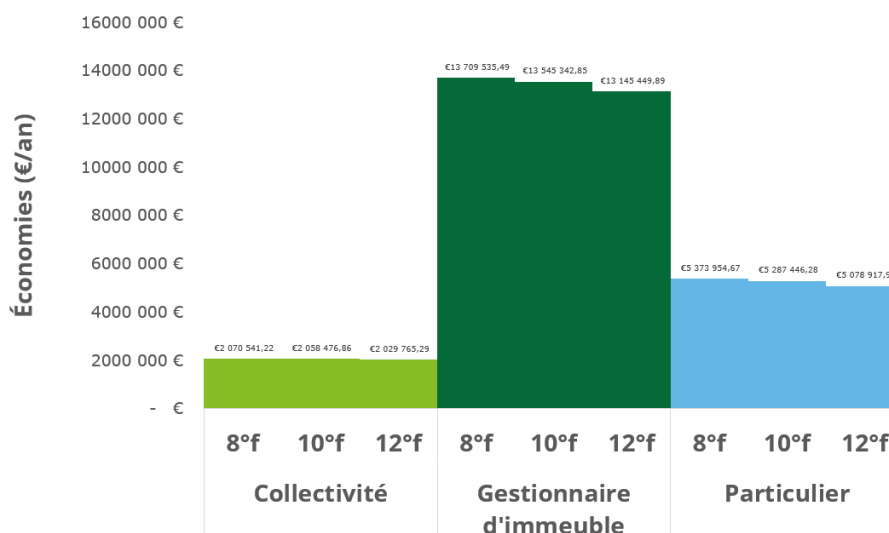


Figure 15 : Économies liées au prolongement de la durée de vie des équipements, en fonction du scénario de dureté et des catégories d'utilisateur

Les résultats montrent que la décarbonation entraînerait des économies de **20,9 M€** chaque année sur les achats d'appareils ménagers si la dureté cible est de 10 °f. Ce résultat est plus élevé comparé au scénario 12 °f dont les économies représentent 20,2 M€/an. Pour rappel, nous avons estimé que les collectivités n'utilisent ni de lave-vaisselle, ni de lave-linge.

3.2.3 Gains sur les achats de bouteilles d'eau

3.2.3.1 Méthode de calculs

Les gains sur les achats de bouteilles d'eau ont été évalués à partir de la quantité de déchets en bouteilles d'eau déterminée dans la section précédente. Notre hypothèse pour le calcul d'impact se base sur un coût moyen de 0,70 € pour une bouteille d'eau en PET de 1,5 litre de 37 g³⁷.

Méthode de calcul des économies sur les achats de bouteilles d'eau

$$\text{Économies (€/an)} = \frac{\text{Quantité de bouteilles (t/an)} * 0,70 \text{ €}}{37 \cdot 10^{-6} \text{ (t)}}$$

3.2.3.2 Résultats

La Figure 16 récapitule les économies sur les achats d'eau embouteillée, en considérant que 10,5 % d'utilisateurs susceptibles de passer de la consommation d'eau en bouteille à celle du robinet (fourchette haute). Les résultats sont les mêmes pour les deux scénarios de dureté (voir explication dans la section 3.1.3). Ces résultats montrent que le traitement permettrait une économie totale de plus de **65,9 millions d'euros par an** sur l'ensemble du territoire. Revenu à un foyer, cela correspondant à une économie annuelle de 34 €.

³⁷ Numbeo, cost of living.

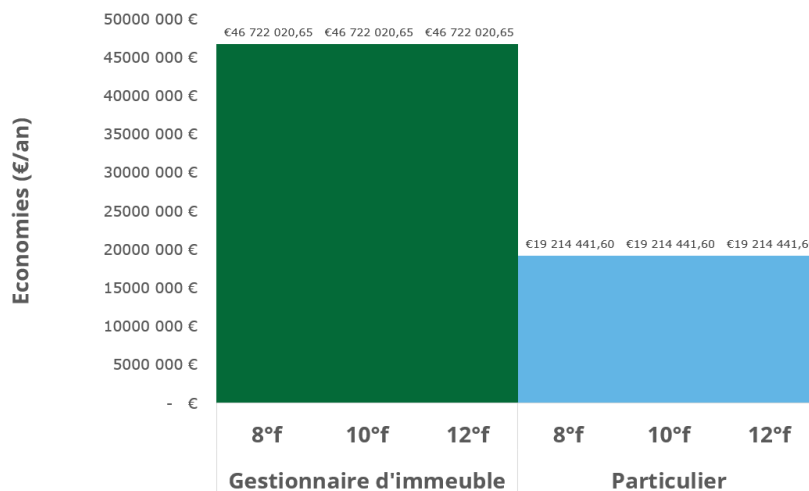


Figure 16 : Economies liées à l'arrêt de l'achat de bouteilles d'eau

3.2.4 Gains sur les achats de produits d'hygiène et d'entretien

3.2.4.1 Méthode de calculs

La décarbonatation peut améliorer l'efficacité des produits d'entretien et entraîner une réduction de leur consommation³⁸. Les économies sur les achats de produits d'entretien ont été évaluées à partir des quantités de produits pouvant être économisées à la suite de la mise en œuvre du traitement. Les prix moyens des produits utilisés dans les calculs (lessive, produit vaisselle et savon corporel) sont disponibles en Annexe 2 : Valeurs de référence.

3.2.4.2 Résultats

L'analyse montre que, pour une dureté de 10°f, le traitement permettrait une économie totale de **95 M€ d'euros par an** sur l'ensemble du territoire. Ramené à un foyer du SEDIF, cela correspond à une économie annuelle de 50 €. Dans un scénario avec une dureté de 8°f, l'économie s'élèverait même à plus de 11 M€/an (Figure 17).

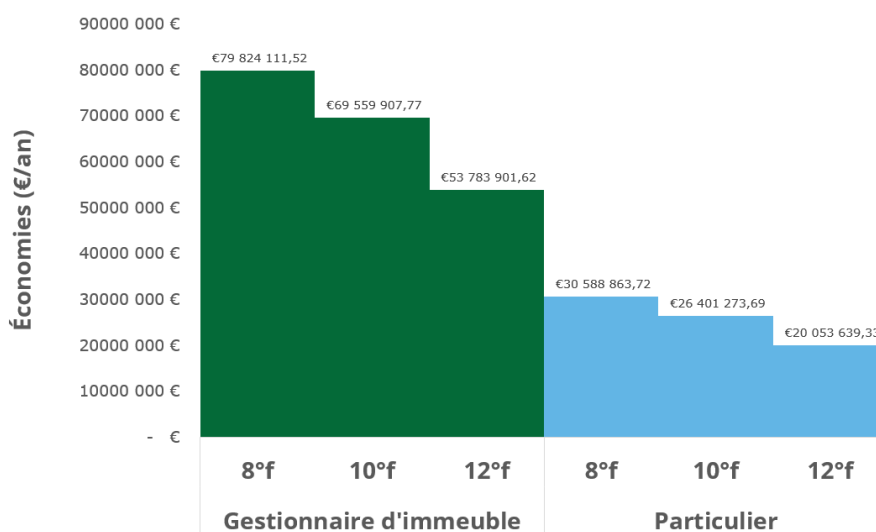


Figure 17 : Économies liées à la baisse de l'achat de produits d'entretien

³⁸ DTU Management, 2009.
Godskesen, 2012.

3.2.5 Gains liés à l'arrêt de l'adoucissement individuel

3.2.5.1 Méthode de calculs

L'adoucissement coûte en moyenne **160 €/an/foyer**³⁹. Nous avons utilisé cette donnée pour évaluer les économies à l'échelle des usines. Ce paramètre a été évalué uniquement pour les catégories des particuliers et des gestionnaires d'immeuble car il nous était impossible d'estimer le nombre d'adoucisseurs pour les collectivités.

D'après l'enquête nationale réalisée par le CIEAU⁴⁰, 11 % des usagers possèdent un adoucisseur individuel à leurs domiciles.

Méthode de calcul des économies liées à l'arrêt de l'adoucissement

$$= \frac{\text{Nb habitants} * \% \text{habitants adoucisseurs} * 160 \text{ (€/an/foyer)}}{\text{Nb pers/foyer}}$$

- % habitants adoucisseurs : Part d'habitants disposant d'adoucisseurs individuels

3.2.5.2 Résultats

En se basant sur les données disponibles dans la littérature, le coût d'installation et de maintenance de l'adoucisseur individuel revient à 33,4 M€/an, si l'on considère l'ensemble du territoire desservi par les trois usines. La décarbonation collective permettrait d'économiser cette somme car on estime que les consommateurs n'auront plus besoin d'utiliser ces appareils après la mise en place de ce traitement.

Enfin, les résultats sont les mêmes pour les 3 duretés étudiées (8, 10 et 12°f) car nous considérons qu'à partir d'un TH de 15°f l'adoucissement individuel n'est plus nécessaire.

3.2.6 Satisfaction des usagers

Les dépôts de tartre sont une source d'inconfort et entraînent des dépenses supplémentaires (notamment l'achat d'eau en bouteille, adoucissement individuel, etc.) pour les usagers, sans oublier la concentration en minéraux qui peut avoir un impact sur le goût de l'eau⁴⁰. Ainsi, la décarbonation pourrait avoir un impact positif sur l'image et la notoriété des professionnels de l'eau, car elle atténuerait les effets indésirables du calcaire et diminuerait les dépenses.

En termes de satisfaction des usagers, la mise en œuvre de la décarbonation pourrait entraîner une augmentation de 10,5 % de la satisfaction des usagers (voir section 3.1 pour l'estimation de la part de consommateurs susceptibles de changer leurs habitudes de consommation d'eau). A noter que ces 10,5 % correspondent à une fourchette haute, et que nous considérons aussi dans cette étude une fourchette basse de 5 %.

3.2.7 Résultats globaux

3.2.7.1 Résultats globaux pour une usine

Le Tableau 23 présente les économies totales par usine et pour les différentes duretés cibles. On constate une différence de plus de 43 millions d'euros entre le scénario 8°f et le scénario 12°f, montrant qu'un scénario de 8°f est de loin le plus intéressant en termes de gains pour les usagers.

³⁹ Moyenne des coûts des deux adoucisseurs les plus vendus en France (Water2buy & Fleck).

⁴⁰ CIEAU, 2022, « Les Français et l'eau » - *Enquête nationale*.

Tableau 23 : Économies totales par scénario de dureté

	Scénario 8 ^{°f}	Scénario 10 ^{°f}	Scénario 12 ^{°f}
TOTAL Territoire	254 719 779 €	236 898 181 €	211 030 368 €

3.2.7.2 Résultats pour un foyer moyen sur le territoire du SEDIF

Pour un foyer moyen – y compris les foyers avec adoucisseur et les foyers consommant de l'eau en bouteille – sur le territoire du SEDIF, les économies totales à la suite de la décarbonation collective sont présentées dans le Tableau 24 en fonction de la dureté cible. Dans le scénario 10 °f, une économie moyenne de **125 € par foyer et par an** est estimée. Elle est plus élevée comparé au scénario 12 °f, pour lequel une économie totale de 111 € par an et par foyer a été estimée, et plus faible que pour le scénario 8 °f, pour lequel l'économie totale s'élève à 134 €. Cette économie est supérieure à celle présentée dans la partie Synthèses des résultats du bilan, car elle ne prend en compte les coûts d'investissement et d'exploitation annuels du projet.

Tableau 24 : Economies totales liées à la décarbonation (€/foyer/an)

	Scénario 8 ^{°f}	Scénario 10 ^{°f}	Scénario 12 ^{°f}
Economies sur les achats de produits d'entretien	58,1 €/foyer/an	50,5 €/foyer/an	38,8 €/foyer/an
Economies sur le prolongement de la durée de vie des équipements	11,1 €/foyer/an	11,0 €/foyer/an	10,7 €/foyer/an
Economies sur la consommation énergétique des équipements	12,5 €/foyer/an	10,9 €/foyer/an	9,2 €/foyer/an
Economies sur l'arrêt de l'adoucissement	17,6 €/foyer/an	17,6 €/foyer/an	17,6 €/foyer/an
Economies sur les achats d'eau en bouteille	34,7 €/foyer/an	34,7 €/foyer/an	34,7 €/foyer/an
Economies TOTALE	134,0 €/foyer/an	124,6 €/foyer/an	111,0 €/foyer/an

Enfin, la Figure 18 nous montre la répartition des économies réalisées sur l'ensemble du territoire du SEDIF. Les économies principales sont liées à la diminution de l'achat des produits d'entretien, l'arrêt de l'adoucissement ainsi que l'utilisation de l'eau du robinet pour remplacer la consommation de bouteilles plastiques.

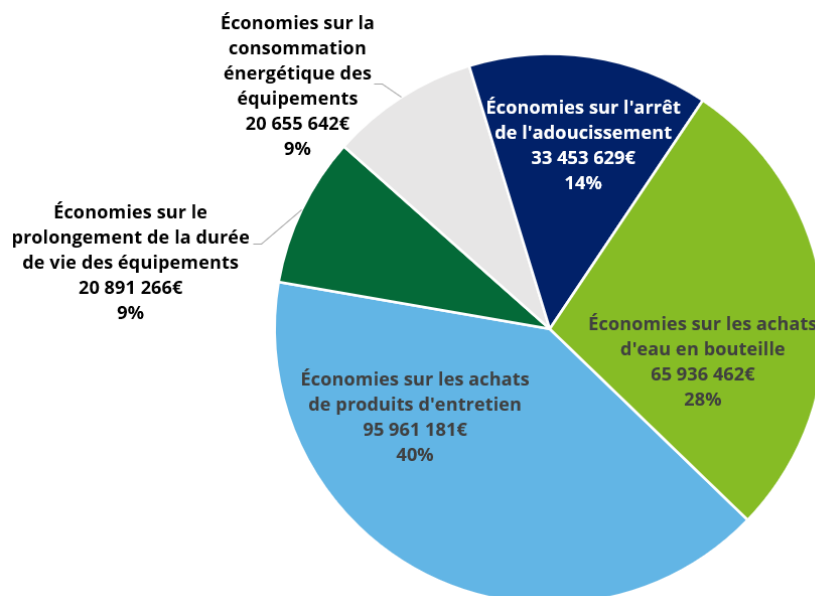


Figure 18 : Répartition des économies liées à la décarbonation

Cas d'un foyer avec adoucisseur

L'installation d'un adoucisseur permet aux ménages d'éviter les désagréments liés au calcaire présent dans l'eau du robinet⁴¹, notamment le dépôt de tarte dans les équipements ménagers ou encore la consommation élevée de savons et de détergents. Ces ménages ne seront donc pas impactés de la même manière que les foyers ne possédant pas d'adoucisseurs domestiques. Les économies réalisées seraient principalement liées à l'arrêt de l'adoucissement. Certains ménages, en plus de l'adoucissement, consomment régulièrement de l'eau en bouteille, ceux-ci pourraient également économiser cette somme.

De ce fait, pour un foyer utilisant un adoucisseur individuel, soit en moyenne 11 % des foyers, les économies peuvent varier de 160 €/an (coût annuel de l'adoucissement⁴²) à 194 €/an (coût de l'adoucissement + coût de l'achat de bouteilles d'eau) quel que soit le scénario de dureté considéré (8, 10 ou 12°f).

3.2.7.3 Résultats pour un foyer sans adoucisseur et consommant l'eau du robinet

Contrairement aux foyers avec adoucisseur, l'ensemble des postes de consommation d'eau des foyers sans adoucisseur seront impactés par la décarbonation, que ce soit le linge, la vaisselle, ou encore l'hygiène personnelle. Les figures et tableaux suivants résument les économies estimées par an, selon le scénario de dureté cible, par foyer et par poste de consommation associé aux différents usages domestiques de l'eau – pour un foyer sans adoucisseur et consommant l'eau du robinet.

Les résultats présentent les économies estimées pour les **foyers sans adoucisseur et consommant l'eau du robinet**. Pour chaque poste de consommation, les indicateurs économiques évalués sont : l'évitement de la réduction de la durée de vie des équipements et l'achat de produits d'entretien. A noter que la consommation d'eau embouteillée n'est pas considérée dans les estimations des résultats présentés ici (voir section 3.1.3 pour les détails

⁴¹ L'eau adoucie est utilisée pour tous les usages domestiques notamment pour le linge, l'alimentation, la vaisselle, etc.

⁴² Moyenne des coûts des deux adoucisseurs les plus vendus en France (Water2buy & Fleck).

concernant les impacts liés à la consommation d'eau en bouteille). Aussi les économies d'énergie (présentées dans la section précédente) ne sont pas prises en compte ici car ces estimations représentent la **moyenne territoire**, couvrant l'ensemble des périmètres évalués (e.g. les foyers sans et avec adoucisseur, ceux qui consomment l'eau du robinet et ceux qui consomment l'eau en bouteille, etc.). Il nous semblait donc peu pertinent d'appliquer la moyenne du territoire sur un seul groupe d'utilisateurs - c'est-à-dire ceux ne possédant pas d'adoucisseur et consommant l'eau du robinet.

Comme le montre la Figure 19 ci-dessous, dans le cas du scénario 10 °f, l'économie réalisée sur l'ensemble des postes de consommation domestiques (€/an/foyer) représente environ **91 € par an et par foyer** (incluant les dépenses liées au prolongement de la durée de vie des équipements et les achats liés à la consommation de produits d'entretien).

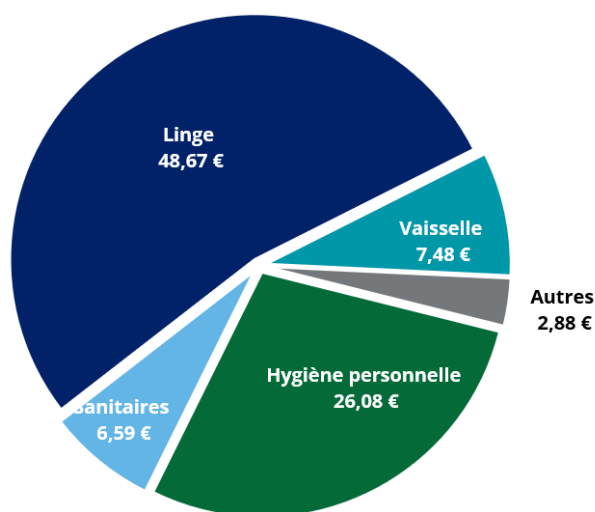


Figure 19 : Économies (€/an/foyer) réparties par poste de consommation pour un foyer sans adoucisseur, consommant l'eau du robinet et pour une dureté de 10 °f

Pour rappel, la catégorie « Autres » correspond à l'utilisation de la bouilloire et la machine à café.

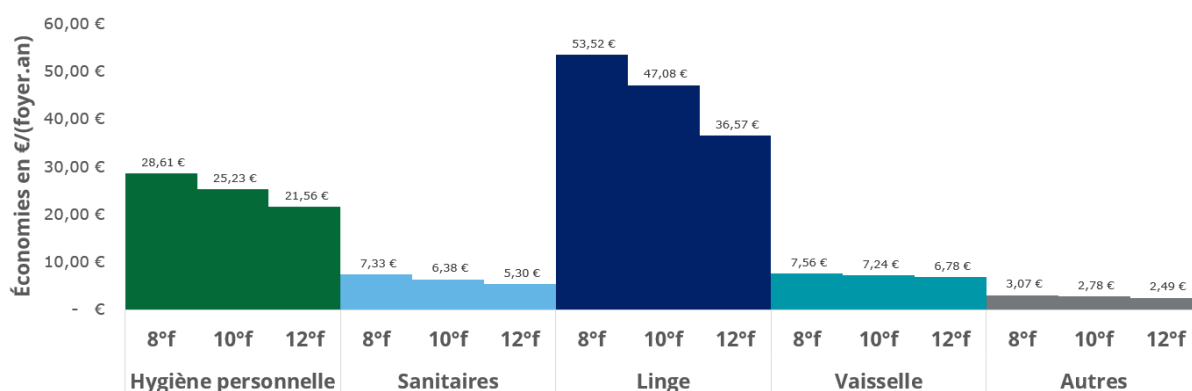


Figure 20 : Économies (€/an/foyer) réparties par poste de consommation pour un foyer sans adoucisseur, consommant l'eau du robinet et pour différents scénarios de dureté

4 Synthèses des résultats du bilan

Ce chapitre présente le bilan économique et environnemental global des impacts des scénarios de dureté cible (8,10 et 12 °f) pour les usages domestiques (particuliers, collectivités et gestionnaires d'immeuble). Le dernier chapitre 7 présente l'analyse critique des résultats et les enseignements clés.

4.1 Bilan énergétique – particuliers, collectivités et gestionnaires d'immeuble

Comme mentionné dans la section 3.1.1, les gains énergétiques du projet de décarbonation collective, pour les usages domestiques de l'eau, ont été estimés en faisant la différence entre la consommation annuelle actuelle (en fonction de la dureté de référence actuelle des usines) et la consommation énergétique à dureté cible de chaque équipement ménager impacté. Les tableaux ci-dessous présentent respectivement ces gains, au total (Tableau 25) et par foyer (Tableau 26).

Tableau 25 : Gains énergétiques totaux (kWh/an)

	Scenario 8°f	Scenario 10°f	Scenario 12°f
TOTAL territoire	136 567 133 kWh/an	118 710 587 kWh/an	100 854 041 kWh/an

Tableau 26 : Gains énergétiques par foyer (kWh/foyer/an)

	Scenario 8°f	Scenario 10°f	Scenario 12°f
TOTAL territoire	71,8 kWh/foyer/an	62,5 kWh/foyer/an	53,1 kWh/foyer/an

À partir de ces gains en énergie et de la consommation d'énergie de la filtration membranaire (du procédé de décarbonatation), nous avons pu établir le bilan énergétique du projet sur l'ensemble du territoire.

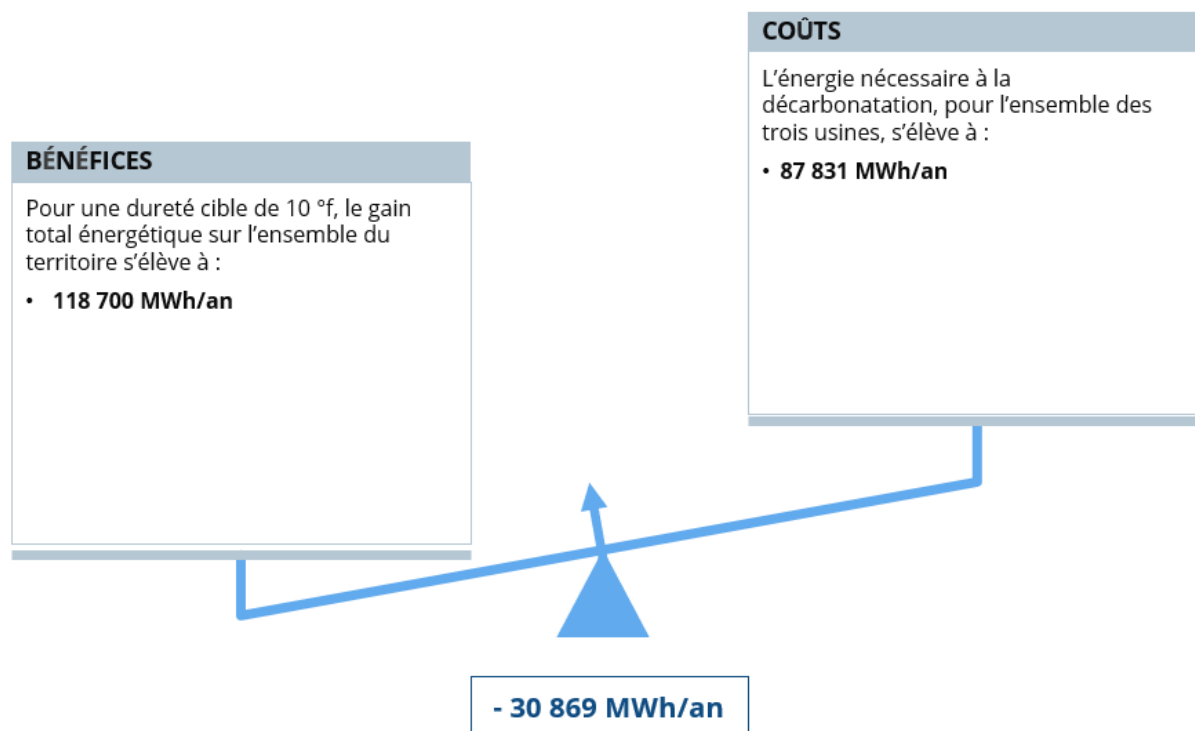
Le bilan montre que, dans le cas du scénario 10 °f, la consommation énergétique diminue de **118 710 MWh/an**, soit une réduction de l'empreinte énergétique d'un foyer moyen en Ile-de-France de **62,5 kWh/an**.

Pour les scénarios 8 °f et 12°f, l'empreinte énergétique diminuerait respectivement de 136 567 MWh/an et 100 854 MWh/an, soit des bilans énergétiques de 71,8 kWh/an et 53,1 kWh/an pour un foyer moyen sur le territoire du SEDIF. Le scénario 8 °f est donc le plus bénéfique pour les usagers.

Ces résultats sont une estimation, ils sont donc à prendre avec précaution notamment en raison des hypothèses qui ont été faites sur l'utilisation des équipements en fonction des catégories d'usagers. En effet, ce calcul ne prend pas en compte la consommation d'énergie éventuelle des lave-linges et lave-vaisselles par les collectivités notamment dans les hôpitaux, les centres de

vacances, les maisons de repos ou retraite, etc. Une prise en compte de ces consommations, et donc des économies énergétiques réalisées sur les différents appareils associés (lave-linge, lave-vaisselle, etc.) amènerait à un gain énergétique global plus important.

Il est important de mettre en comparaison ces gains potentiels d'énergie avec l'énergie totale requise pour mettre en place la décarbonatation : **87 831 MWh/an**.⁴³



4.2 Bilan économique – particuliers, collectivités et gestionnaires d'immeuble

Afin d'établir le bilan économique du projet de décarbonatation collective du SEDIF pour les usages domestiques de l'eau (particuliers, collectivités et gestionnaires d'immeuble), une analyse approfondie des coûts (coûts d'investissement et d'exploitation à la mise en œuvre de la décarbonatation collective) et des bénéfices (les résultats sur les économies estimées présentés dans le chapitre précédent) a été effectuée.

Les coûts estimés du projet de décarbonatation sont comparés aux bénéfices de celui-ci pour chaque scénario de dureté. Le bilan économique représente la somme des bilans annuels sur 40 ans : bilan économique = gains - surcoûts.

Les coûts et bénéfices ont été établis pour chaque usine en prenant compte le nombre d'utilisateurs desservis en moyenne, ainsi que le volume moyen produit par les usines en 2021⁴⁴.

⁴³ Donnée fournie par le SEDIF : consommation énergétique de la filtration membranaire de 0,45 kWh/m³.

⁴⁴ Selon les informations fournies par le SEDIF.

Description des calculs effectués pour les différentes usines

- **Calcul Gains** : $Gain = \frac{\text{Economies totales usine (M€/an)}}{\text{nombre d'habitants usine}}$
- **Calcul surcoût** : $Coût = \frac{\text{Impact sur le prix de l'eau (€/m3)} * \text{volume d'eau consommé}}{\text{nombre d'habitants usine}}$
- **Bilan** : $Gain - Surcoût$

Les résultats de cette analyse de coûts et bénéfiques sont présentés dans les tableaux suivants pour un scénario de dureté de 10 °f, en €/(personne.an), ainsi qu'en €/(m³.an).

Tableau 27 : Bilan moyen des coûts et bénéfiques, pour un scénario de dureté de 10 °f, par personne et par an

	Surcoûts	Gains	Bilan annuel (Gains - Surcoûts)
TOTAL TERRITOIRE	13 €/(pers.an)	54 €/(pers.an)	41 €/(pers.an)

Les résultats montrent que le surcoût associé à la mise en place de la décarbonation est moins important par rapport aux bénéfices de celle-ci chez les usagers, qui économiseraient en moyenne **41€/pers/an**, soit environ **94 €/an pour un foyer moyen** en Ile-de-France, dans le cas d'une dureté cible est de 10 °f. Cela revient à une baisse virtuelle, à volumes de consommation équivalents, du prix de l'eau, malgré l'augmentation constatée directement sur la facture.

L'impact économique global du projet de décarbonation du SEDIF sur les particuliers, collectivités et gestionnaires d'immeuble est synthétisé dans les tableaux suivants. Il convient de noter que ce sont des résultats globaux, ce qui signifie que le degré d'impact entre les différentes usines variera en fonction de la valeur de dureté d'entrée.

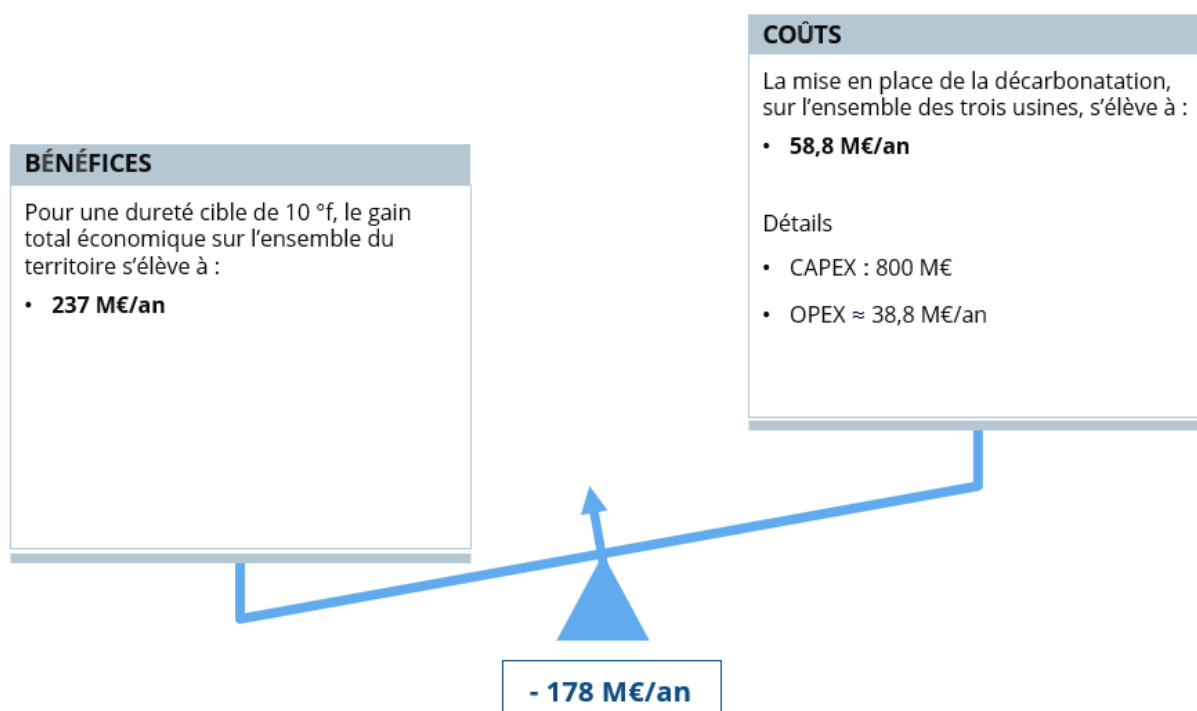


Tableau 28 : Bilan environnemental et économique – usages domestiques (particuliers, collectivités, gestionnaires d'immeuble)

	Scenario 8 ^{°f}	Scenario 10 ^{°f}	Scenario 12 ^{°f}
Economies totales	254 719 779 €/an	236 898 181 €/an	211 030 368 €/an

Le scénario 10 °f permet une économie nette de **237 M €/an** sur l'ensemble du territoire du SEDIF.

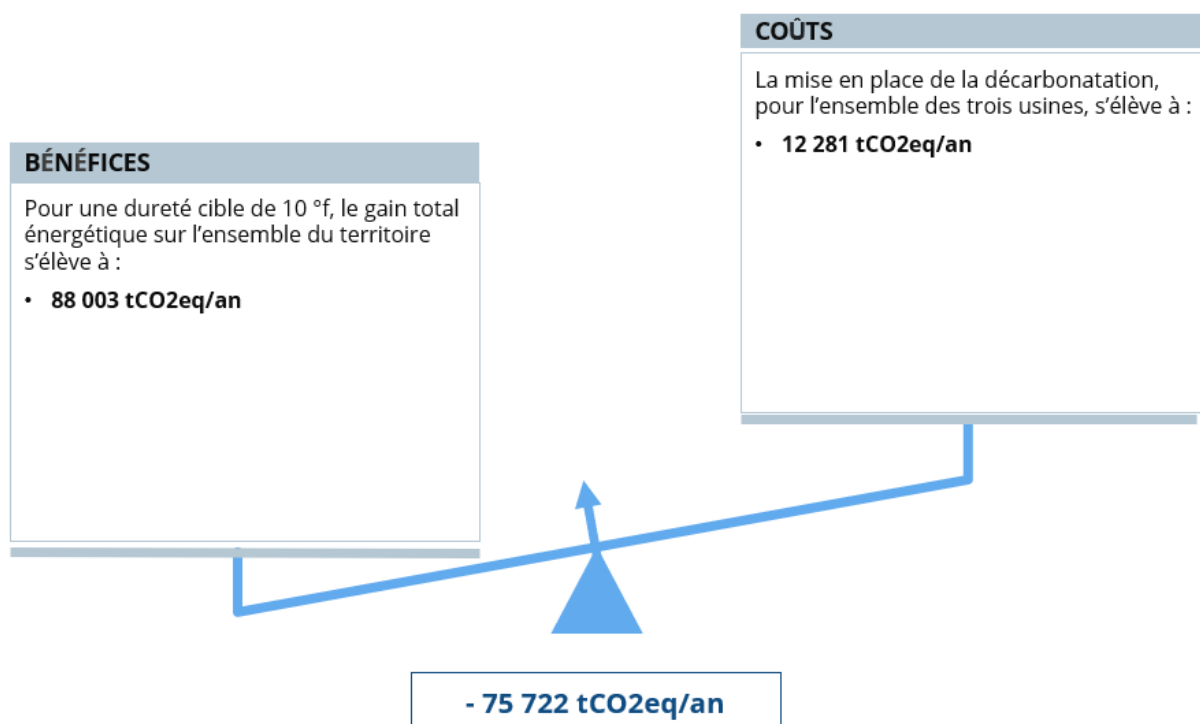
4.3 Bilan environnemental – particuliers, collectivités et gestionnaires d'immeubles

Le tableau ci-dessous (Tableau 29) présente les gains environnementaux totaux revenus à un foyer, associés aux trois scénarios de dureté. Le scénario 10 °f correspond donc à une réduction de 88 002 tCO₂eq/an, ce qui revient à **46,3 kgCO₂eq évités par an pour un foyer moyen**.

Tableau 29 : Gain environnementaux totaux, par foyer et par scenario de dureté

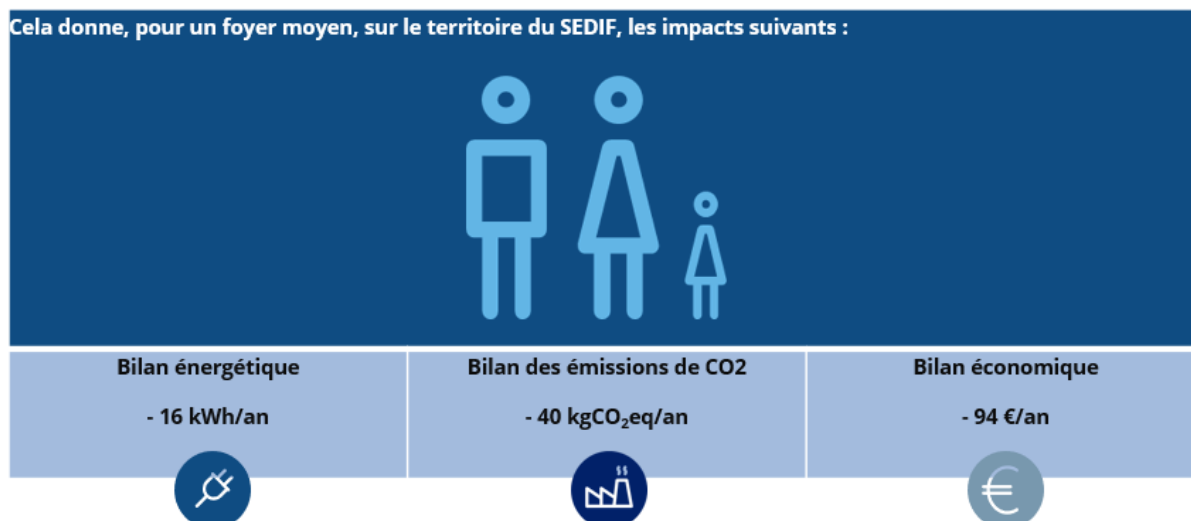
Scenario de dureté	Gain par foyer			Gain total
	8 °f	10 °f	12 °f	10 °f
TOTAL Territoire	48,4	46,3	44,2	88 002 814
	kgCO ₂ eq/foyer/an	kgCO ₂ eq/foyer/an	kgCO ₂ eq/foyer/an	kgCO ₂ eq/an

Il est important de mettre en comparaison cette réduction des émissions de CO₂ liées à la décarbonation collective, avec le coût environnemental de la mise en place du projet, présenté dans la partie 3.1.5.1.



4.4 Bilan économique, énergétique et environnemental – Particuliers, collectivités et gestionnaires d'immeuble

Si l'on considère les coûts (économique, énergétique et environnemental) de la décarbonation générale, nous obtenons les balances annuelles suivantes, pour un foyer moyen :



Analyses complémentaires

1 Impacts économiques et environnementaux de la décarbonation collective sur les professionnels

1.1 Catégories de professionnels considérées

Pour les acteurs représentés dans la catégorie des professionnels, les postes de consommation d'eau concernent des **usages industriels** (eaux de process, usages techniques, production de vapeur, etc.) ou des usages dans le secteur tertiaire se rapprochant des usages ménagers (eau à usage alimentaire ou hygiène, fonctionnement de chaudière, lave-vaisselle, etc.). L'utilisation industrielle de l'eau concerne surtout l'eau de process, utilisée pour le fonctionnement d'un procédé (l'alimentation des générateurs de vapeurs) ou la fabrication d'un produit. L'usage industriel de l'eau s'adresse ainsi à un large éventail d'industries – alimentaire, papier, produits chimiques, pétrole raffiné, métaux primaires, bois, essence et huiles. La dureté de l'eau est très importante dans beaucoup d'applications industrielles car certains sels (calcium (Ca^{2+}), magnésium (Mg^{2+}) et bicarbonate (HCO_3^-)) provenant de l'eau dure peuvent engendrer des problèmes d'entartrage dans les canalisations d'eau chaude, les appareillages d'eau potable et les systèmes de traitement de l'eau.

Dans le contexte des opérations du SEDIF, la catégorie des professionnels regroupe les points de service ne desservant ni les logements, ni le segment collectivité. Elle est donc très large et s'étend du salon de coiffure et de la boulangerie au site industriel (i.e. fabricant des boissons, produits pharmaceutiques, etc.). En 2019, l'évaluation des impacts avaient été réalisée sur **une sélection d'acteurs clés** de cette catégorie en raison de la nature très hétérogène des activités représentées (et donc des postes de consommation différents). L'évaluation des impacts avait été effectuée sur une sélection des quatre acteurs, représentant trois secteurs industriels de cette catégorie. L'analyse avait pris en compte la diversité des industries représentées, le degré d'impact estimé sur leurs activités industrielles, ainsi que la quantité d'eau consommée en 2017. À ce titre, quatre acteurs représentés dans trois secteurs industriels avaient été sélectionnés pour l'évaluation des impacts attendus du projet de décarbonation :

- Pharmaceutique : un industriel du secteur ;
- Agroalimentaire (fabrication des boissons) : deux industriels du secteur ;
- Nettoyage industriel : un industriel du secteur.

Au vu de l'hétérogénéité significative de cette catégorie d'usagers professionnels, les résultats de l'étude de 2019 ne sont pas extrapolables à l'ensemble des consommateurs industriels ou tertiaires, ni aux autres catégories d'usagers (particuliers, collectivités, gestionnaires d'immeuble).

1.2 Impacts de la décarbonatation sur des professionnels du secteur tertiaire

Des recherches bibliographiques ont été réalisées afin d'actualiser les impacts socio-économiques d'une eau dure sur différents professionnels du secteur tertiaire tels que les petits commerces, les sociétés de nettoyage, les laveries automobiles, les traiteurs, etc. Ces recherches ont révélé que peu de documentation existe sur le sujet. Quelques études présentent les impacts qualitatifs de la qualité de l'eau sur certains secteurs mais aucune donnée quantitative fiable n'a été trouvée. Les résultats des recherches bibliographiques et des entretiens d'experts montrent principalement le fait que les professionnels auraient sensiblement les mêmes enjeux que les particuliers face au calcaire (coût lié à l'utilisation de détergent, consommation d'énergie, entartrage des installations, etc.).

Dès lors, afin de cadrer les recherches, il a été décidé de se concentrer sur deux types de secteurs professionnels clés et d'étudier leurs consommations d'eau et les impacts potentiels liés au calcaire. Trois focus ont donc été réalisés :

- un premier focus sur les entreprises de service tels que les coiffeurs, les lavomatiques et les laveries automobiles ;
- un second focus sur le secteur de l'hôtellerie et de la restauration pour lequel il y a un réel enjeu du goût de l'eau en plus de la qualité du service.

Afin d'avoir une vision technique du terrain, une prise de contact a été réalisée avec différents acteurs de chaque secteur ainsi que des experts. Ces échanges, en plus de recherches bibliographiques, ont permis de confirmer nos hypothèses sur le sujet.

1.2.1 Focus 1 : entreprises de service

Un focus a été réalisé sur les entreprises de service. Des coiffeurs, des lavomatiques et des laveries automobiles ont été contactés. En amont de ces prises de contact, des recherches ont été réalisées sur les impacts directs du calcaire pour ces métiers.

Pour les **coiffeurs**, les impacts répertoriés sont les mêmes que pour les particuliers concernant la peau et les cheveux avec notamment davantage de pellicules, de démangeaisons et des cheveux abimés. Malheureusement, aucun coiffeur ou syndicat de coiffure (UNEC) n'a pu répondre à nos questions à ce sujet avec des éléments étayés. Deux coiffeurs de région parisienne ont néanmoins confirmé qu'ils n'avaient pas d'adoucisseur d'eau et qu'il n'y avait pas à leur connaissance d'étude réalisée sur l'impact du calcaire pour leur profession. Le sujet ne semble donc pas être perçu par la profession.

Pour les **lavomatiques**, les impacts sont les mêmes que pour les particuliers au niveau des enjeux autour du matériel et de la dégradation des machines à laver due au calcaire qui deviennent moins efficaces et plus consommatrices d'énergie⁴⁵. Afin d'avoir un retour d'expérience sur le sujet, Speed Queen, Revolution Laundry et Armstrong France, des entreprises présentes sur le territoire du SEDIF, ont été contactées. Armstrong France, vendeur de matériel professionnel pour les laveries, blanchisseries et pressing, a confié qu'il n'avait pas d'information sur le sujet mais que néanmoins la température de l'eau qui arrivait dans les machines à laver était contrôlée pour assurer leur fonctionnement optimal⁴⁶. Cependant les mêmes enjeux d'entartrage des appareils d'électroménagers que pour les foyers sont retrouvés, l'objectif principal des professionnels étant d'optimiser la durée de vie de leurs équipements et de réaliser des économies (à la fois à travers l'énergie consommée ou les coûts d'achat/réparation).

⁴⁵ 1- UAE Union des professionnels du traitement de l'eau « Les effets de l'eau calcaire sur vos appareils électroménagers »

⁴⁶ 2- TurtleWwaxPro, 2022 « Hard water affects your car wash: how to fix it »

Pour les **laveries automobiles**, de nombreuses expériences ont pu montrer que le calcaire présent dans l'eau laisse des traces sur les voitures, les détériore, rend la peinture terne et implique une consommation plus importante de produits de nettoyage et donc de rejets de ces produits dans les eaux usées, en plus de l'impact sur les machines de nettoyage en elles-mêmes. Aucune donnée quantitative n'a cependant pu être obtenue de nos recherches.

Il a donc été décidé, dans le cadre de l'étude, de calculer l'impact d'une eau dure pour ces acteurs professionnels du secteur tertiaire en réalisant un prorata des hypothèses prises pour les particuliers, basé sur les volumes d'eau consommée. Ainsi, pour les coiffeurs, la moyenne de consommation annuelle d'eau est de 160 000 litres par salon de coiffure⁴⁷. D'après l'union nationale des entreprises de coiffure, il y a 100 100 établissements en 2021⁴⁸, soit une consommation d'eau totale de 16 016 000 000 litres par an. Pour les lavomatiques, il y a en moyenne 8 à 10 machines à laver par laverie⁴⁹ avec une consommation de 22 000 litres par an par appareil pour 4 500 laveries automatiques en France⁵⁰, ce qui fait une consommation d'eau totale de 891 000 000 litres par an. Enfin pour les laveries automobiles, le ministère de la transition écologique a calculé une consommation annuelle de 64 000 000 m³ d'eau en 2021⁵¹, soit 64 000 000 000 litres d'eau. Dès lors, pour ces trois secteurs professionnels, on peut considérer qu'il y a avec ce projet des économies sur le prolongement de la durée de vie des équipements et sur la consommation énergétique des équipements. Les économies en termes d'adoucisseurs individuelles et d'entretien ne sont pas prises en comptes car très peu de professionnels de ces secteurs en disposent d'un. Les économies en termes de consommation de bouteilles d'eau ne sont également pas prises en compte du fait de l'activité professionnelle. Les économies pour les usagers sur le prolongement de la durée de vie des équipements sont de 20 891 265 € et de 20 655 642 € pour la consommation énergétique des équipements, soit 41 546 907 € en total, en considérant un volume de 200 793 157 m³, soit 200 793 157 000 litres, correspondant aux collectivités, gestionnaires d'immeuble et particuliers. Dès lors, pour ces trois professions, des économies peuvent être estimées à hauteur de 3 313 934€ pour les salons de coiffure (41 546 907 x 16 016 000 000 / 200 793 157 000), de 183 961 € pour les laveries automatiques et de 13 213 807 € pour les laveries automobiles.

1.2.2 Focus 2 : Hôtellerie & restauration

Enfin, le dernier focus concerne le secteur de l'hôtellerie et de la restauration. Il y a un enjeu de qualité de l'eau (minéralogie, etc.) mais aussi de goût. Dans ce cadre, plusieurs syndicats (Union des Métiers et des Industries de l'Hôtellerie (UMIH), Syndicat national de la restauration thématique et commerciale (SNRTC), Groupement des hôtelleries et restaurations de France (GNI-GHR), Groupement national des chaînes hôtelières (GNC)) et chaînes de restauration ont été contactés. Peu de réponses ont été reçues, notamment du fait que le sujet de l'impact du calcaire n'était pas jugé prioritaire compte tenu de la crise énergétique actuelle qui touche ce secteur et est actuellement un sujet de préoccupation majeur. Une liste des impacts à tout de même pu être réalisée notamment grâce à une étude de l'UAE⁵². Dans le secteur de l'hôtellerie, lorsque l'eau est dure, le linge peut être plus rêche, des traces de calcaire peuvent se retrouver plus facilement sur la vaisselle, les robinetteries et les parois de douche, et cela entraîne des coûts d'entretien liés à l'entartrage des appareils, des coûts supplémentaires pour les produits de nettoyage et une perte de durée de vie des appareils électroménagers. Quant aux impacts identifiés pour la restauration, sont relevés l'entartrage des équipements comme les fours à vapeur ou les machines à café, les

⁴⁷ Ville de Paris – « Salon de coiffure, étude ARENE 2008 »

⁴⁸ Rapport de l'UNEC (Union Nationale des entreprises de coiffure), 2022 « Les chiffres clés 2021 »

⁴⁹ Observatoire de la franchise, « Ouvrir une laverie »

⁵⁰ ACFranchise, 2020 « Comment investir dans une laverie automatique ? »

⁵¹ CNPA, Conseil National des professions de l'automobile, 2021 « Maîtriser l'usage de l'eau »

⁵² UAE, Union des professionnels du traitement de l'eau « Cafés, hôtels et restaurants »

surcoûts d'entretien, la baisse de qualité des glaçons mais aussi et surtout l'impact sur le goût des boissons et des aliments. La qualité de l'eau pourrait effectivement avoir un impact sur les arômes des boissons chaudes ou encore le goût des plats préparés avec de l'eau ou cuits à la vapeur. Les restaurateurs, du fait des exigences de leur profession, s'équipent automatiquement d'un adoucisseur d'eau, leur comportement n'est donc pas susceptible d'être impacté.

2 Impacts sanitaires : investigation des impacts du calcaire sur la peau et les cheveux

Les impacts sanitaires d'une eau trop dure concernent surtout les impacts sur la minéralisation, la dissolution des métaux lourds via la corrosion des canalisations ou alors le dépôt de tartre et le développement de microorganismes. Comme indiqué préalablement dans la partie méthodologique du rapport, en raison du manque de données, les impacts sanitaires de la décarbonatation collective n'ont pas été quantifiés. Néanmoins les informations obtenues de la recherche bibliographique et auprès des experts nous permettent d'estimer de manière qualitative ces impacts. Dans le rapport de 2019 réalisé par Deloitte Développement Durable, d'autres impacts sanitaires avaient été étudiés : la dissolution des métaux lourds, les besoins en minéraux, la formation de tartre et le développement de microorganisme et le développement de pathogènes. Ces données n'ont pas été actualisées par rapport à la précédente étude.

2.1 Impacts sur la peau

De nombreux sites Internet (web magazines, sites de fabricants de solutions de traitement de l'eau, sites de fabricants de produits d'hygiène, etc.) mettent en avant les effets indésirables de l'eau dure sur la peau et les cheveux.

Parmi les principaux dommages mentionnés pour la peau, **la sécheresse, l'irritation et l'exacerbation de l'eczéma des personnes vulnérables** sont les plus fréquents. La chaîne de causalité avancée est la suivante : l'eau dure contient des minéraux, le calcium et le magnésium, qui réagissent avec les acides gras du savon pour former des produits chimiques qui coagulent et ne se dissolvent pas dans l'eau. Le nettoyage de la peau est donc moins efficace avec de l'eau dure. De plus, des résidus de savon et autres substances détergentes contenues dans les produits d'hygiène potentiellement irritants peuvent rester sur la peau.

Même si ces sites ne citent que peu de sources scientifiques (outre des verbatims de dermatologues), la plupart de ces effets ont été étudiés par des études scientifiques publiées (études épidémiologiques basées sur des cohortes, revues de littératures), notamment sur le lien entre la dureté de l'eau et la dermatite atopique.

2.1.1 En bref

Une étude a montré que les personnes qui se lavent avec de l'eau dure conservent davantage de résidus de sulfates provenant des produits d'hygiène qu'elles utilisent, ce qui peut être irritant pour certaines personnes. Les résidus de savon et autres substances minérales sont accusés d'obstruer les pores de la peau – pouvant accentuer le risque d'acné – et de capter les substances lipophiles naturelles qui maintiennent la peau saine et hydratée– provoquant ainsi une sécheresse accrue. Une perturbation de la fonction normale de la barrière cutanée est aussi rapportée (perte de transfert d'eau à travers la peau).

L'eau dure peut exacerber des affections cutanées chroniques, comme l'eczéma et la dermatite atopique. Certaines études indiquent que l'eau dure peut aggraver la situation des personnes souffrant d'affections cutanées telles que l'eczéma et la dermatite atopique. Bien que l'eau dure ne soit pas en soi la cause de la dermatite atopique, elle peut l'irriter ou même provoquer une poussée. La combinaison d'une eau dure et d'une dermatite coexistante peut entraîner des poussées plus fréquentes et plus graves. Des études ont signalé que l'eau dure favorisait le développement de l'eczéma, une affection cutanée qui se traduit par des éruptions rouges et sèches sur le corps. De même, les personnes souffrant de psoriasis pourraient voir leur irritabilité augmenter lorsqu'elles utilisent de l'eau dure.

2.1.2 Revue de littérature et résultats

Le lavage de la peau avec de l'eau dure est l'un des facteurs environnementaux censés augmenter le risque de développer la dermatite atopique (Ewence et al., 2011). De nombreuses études ont fait état d'une **prévalence plus élevée de l'eczéma infantile dans les régions où l'eau est dure, en particulier chez les enfants porteurs de la mutation de perte de fonction du gène de la barrière cutanée** (filagrine FLG). Une revue systématique récente a montré une probabilité accrue de prévalence de l'eczéma chez les nourrissons et les enfants exposés à de l'eau dure par rapport à ceux exposés à de l'eau douce (Jabbar-Lopez, et al. 2021b, Jabbar-Lopez, et al. 2017). Il existe une association positive entre le fait de vivre dans une région où l'eau est dure (entre 76 et > 350 mg/L de CaCO₃) et l'eczéma atopique chez les enfants.

Une première étude transversale menée au Royaume-Uni dans les années 1990 a montré que les enfants en âge d'aller à l'école primaire vivant dans des régions où l'eau est dure présentaient un risque accru d'eczéma par rapport à ceux vivant dans des régions où l'eau est plus douce (McNally et al., 1998). Cette association a été confirmée chez des écoliers au Japon (Miyake et al., 2004) et en Espagne (Arnedo-Pena et Bellido-Blasco, 2007). Cette relation a été confirmée dans une étude transversale portant sur 1300 nourrissons britanniques (Perkin et al., 2016). Une étude de cohorte de naissance danoise a également rapporté que la prévalence de l'eczéma entre 0 et 18 mois augmentait avec la dureté de l'eau (Engebretsen et al, 2016).

En revanche, la cohorte de naissance espagnole INMA n'a pas trouvé de différence significative dans la prévalence de l'eczéma entre les régions où l'eau est plus dure et celles où elle est plus douce chez les nourrissons à l'âge de 14 mois, cependant, les groupes de comparaison n'étaient pas très différents en termes de niveaux de CaCO₃ (Font-Ribera et al 2015). Une étude sur une cohorte d'enfants américains a montré également que la dureté de l'eau n'est pas corrélée à l'eczéma infantile dans une région où l'eau est naturellement douce (Ezzamouri, et al., 2022).

Un essai randomisé britannique sur les adoucisseurs d'eau chez les enfants atteints d'eczéma modéré à sévère n'a pas montré d'amélioration de la sévérité de l'eczéma dans le groupe adoucisseur d'eau (Thomas et al., 2011), c'est-à-dire que **l'eau adoucie n'a pas apporté un bénéfice supplémentaire aux patients atteints d'eczéma par rapport aux soins habituels**. Toutefois, cet essai n'a duré que 12 semaines et a évalué la gravité de l'eczéma, et non sa prévalence. Cependant, un essai de faisabilité randomisé récent a montré que l'introduction d'un adoucisseur d'eau dès la naissance conduisait à une prévalence plus faible de l'eczéma à l'âge de 6 mois, bien que l'essai n'ait pas eu la puissance nécessaire pour être confirmatif (Jabbar-Lopez, et al. 2021a).

Concernant les adultes, une récente étude a montré que **l'augmentation des niveaux de dureté de l'eau domestique est associée à une augmentation de la prévalence de l'eczéma chez les adultes, mais pas à une augmentation de l'incidence** (Lopez et al., 2022). Bien que la direction de l'association corresponde à ce qui est observé au départ pour la prévalence de l'eczéma chez les adultes en comparant les participants vivant dans des zones avec plus ou moins 200 mg L⁻¹ de CaCO₃, la force de l'association dans cette cohorte d'adultes est un peu plus faible. Il est possible que l'association s'estompe avec le temps, l'eczéma devenant moins répandu chez les adultes âgés d'environ 55 ans.

Des études et des revues systématiques récentes ont cherché à creuser le lien mécanistique entre la dureté de l'eau, la fonction de barrière cutanée et le risque de développer l'eczéma atopique (Jabbar-Lopez, et al. 2021b, Jabbar-Lopez, et al. 2019, Jabbar-Lopez, et al. 2017). Il a été constaté une incidence accrue de l'eczéma atopique chez les nourrissons présentant des mutations de perte de fonction du gène de la barrière cutanée (filagrine FLG) et exposés à de l'eau dure, ainsi que des interactions statistiquement significatives entre l'eau dure, le dysfonctionnement de la barrière cutanée (mutation du gène de la filaggrine), le risque d'eczéma atopique et la perte d'eau transépidermique. En effet, une étude cas-témoins a montré que les **sites cutanés lavés à l'eau dure augmentaient de manière significative les dépôts de sodium lauryl sulfate** (SLS, un détergent), qui à leur tour **augmentaient le dysfonctionnement de la barrière cutanée via une**

perte d'eau transépidermique et provoquaient une irritation cutanée (Danby et al. 2018) Il existe des preuves d'une interaction entre la dureté de l'eau et les mutations de la filaggrine dans le développement de l'eczéma atopique infantile.

2.2 Impacts sur les cheveux

De nombreux sites Internet (web magazines, sites de fabricants de solutions de traitement de l'eau, sites de fabricants de produits d'hygiène, etc.) mettent en avant les effets indésirables de l'eau dure sur la peau et les cheveux.

Parmi les principaux dommages mentionnés pour les cheveux, outre l'irritation du cuir chevelu et le risque d'aggraver les pellicules, **l'altération de l'apparence et de la texture du cheveu (sec, ternes, frisottés), ainsi que leur force (cheveux cassants)** sont les plus fréquents. La chaîne de causalité avancée est la suivante : l'eau dure contient des minéraux, le calcium et le magnésium, qui réagissent avec les acides gras du shampoing pour former des produits chimiques qui coagulent et ne se dissolvent pas dans l'eau. Le nettoyage du cheveu est donc moins efficace avec de l'eau dure. Les **minéraux présents dans l'eau dure et les résidus de lavage s'accumulent** sur les cheveux, modifiant l'apparence, le toucher et la texture des cheveux et les privant de leur hydratation. Leur souplesse et leur résistance sont également impactées, rendant les cheveux plus cassants. Dans les cas extrêmes, l'eau dure pourrait même entraîner la chute des cheveux ; lorsque des dépôts de calcium s'accumulent sur le cuir chevelu, entraînant la rupture des cheveux à la base. L'eau dure peut également estomper rapidement les nouveaux traitements de coloration et a la réputation d'aplatir plus rapidement les permanentes.

Même si ces sites ne citent que peu de sources scientifiques (outre des verbatims de dermatologues), la plupart de ces effets sont en partie corroborés par quelques études scientifiques publiées, notamment sur le lien entre la dureté de l'eau et l'élasticité, la résistance à la traction ainsi que l'aspect structurel de surface du cheveu. Le consensus scientifique n'est cependant pas toujours établi en raison du peu d'études disponibles et des divergences de résultats parfois observées.

2.2.1 En bref

La force et la résistance du cheveu est susceptible d'être altérée par l'eau dure, surtout en cas d'exposition prolongée, et le cheveu a plus de risque de casser. Son élasticité ne semble cependant pas impactée.

Des dépôts minéraux liés à l'eau dure sont observés à la surface du cheveu et sur le cuir chevelu mais cela n'impacte pas systématiquement l'aspect du cheveu.

2.2.2 Revue de littérature et résultats

La dureté de l'eau utilisée pour laver les cheveux peut les endommager. Bien qu'une étude ait montré que la **dureté de l'eau n'affecte pas négativement la résistance à la traction et l'élasticité des cheveux** (Srinivasan et al., 2013) ; une autre étude a quant à elle observé que la **résistance à la traction des cheveux était significativement réduite dans les cheveux traités à l'eau dure** par rapport aux cheveux traités à l'eau déionisée (Luqman et al., 2016). La principale différence entre ces deux études est la durée de l'exposition à l'eau dure (expositions répétées pendant 1 mois pour la première, 3 mois pour la deuxième étude), ce qui pourrait signifier que l'altération de la résistance à la traction apparaît pour des expositions à plus longue durée. Une autre étude a évalué les changements dans la résistance de base des cheveux après les avoir traités avec de l'eau dure et de l'eau déminéralisée, et a conclu que **l'eau dure diminue la résistance des cheveux et augmente donc leur casse** (Luqman et al., 2018).

Deux études d'observation au microscope électronique à balayage (MEB) ont investigué les impacts structurels de l'exposition du cheveu à l'eau dure. Alors que la première a conclu que les

cheveux lavés régulièrement à l'eau dure présentent un aspect ébouriffé avec un dépôt minéral plus important et une épaisseur réduite par rapport à la surface des cheveux traités à l'eau distillée (Srinivasan et al., 2016). La seconde observe que **l'eau dure peut-être associée à une augmentation des dépôts** (notamment pour le magnésium, mais pas pour le calcium) à la surface de la tige du cheveu, mais cela ne se traduit **pas nécessairement par des changements structurels évidents à la surface du cheveu** (Lujain et al., 2017).

3 Impacts de la décarbonatation sur le traitement des eaux usées

L'étude Deloitte de 2019 avait investigué certains impacts de la décarbonatation sur la qualité des eaux usées. Elle avait souligné le fait que la présence de chlorures dans les eaux usées à cause de l'utilisation d'adoucisseurs individuels est principalement due aux adoucisseurs utilisant les techniques à base de résines échangeuses d'ions. Lorsque les résines échangeuses d'ions (majorité des adoucisseurs sur le marché) sont saturées, elles sont régénérées avec du chlorure de sodium, ce qui génère un flux de chlorures dans les eaux usées (voir également Box 2). Les chlorures peuvent également provenir dans une moindre mesure et en fonction de la qualité de l'eau brute des dispositifs de traitement des particuliers, basés sur la technologie d'osmose inverse. A noter que les stations d'épuration classiques ne sont pas équipées de système de traitement des chlorures qui peuvent donc se retrouver dans les eaux de surface. De plus, les chlorures peuvent agir sur les bactéries utilisées dans le traitement biologique des eaux usées, ce qui diminuerait la performance du traitement.

En termes d'impacts des scénarios de dureté cibles sur la présence de chlorures et sodium dans les eaux usées, les données suffisantes ne sont pas à l'heure actuelle disponible pour mesurer l'impact direct de la diminution de la dureté de l'eau sur le traitement des eaux usées. Néanmoins, selon les données collectées via la recherche bibliographique, la mise en œuvre de la décarbonatation collective diminuerait l'utilisation d'adoucisseurs individuels et permettrait donc de réduire les émissions de chlorures de 27 à 47 % dans les eaux usées ; améliorant ainsi l'efficacité de traitement des STEP⁵³.

Plusieurs acteurs du secteur de l'assainissement (SIAAP, services de eaux de Limoges) ont été interrogés afin d'investiguer les impacts de la dureté de l'eau sur la composition des eaux usées, et donc l'impact sur l'efficacité de leur traitement dans les stations d'épuration. Les conclusions de ces entretiens sont que la diminution du calcaire en amont de l'utilisation de l'eau potable permet une plus faible concentration des molécules de produits d'entretien ménagers dans les eaux usées moins dures (post-décarbonatation). Ces molécules (tensioactifs) sont déjà très bien traitées par les sites de traitement de l'eau actuels. **La diminution de la concentration en calcaire de l'eau potable n'a donc pas d'impact sur le traitement des eaux usées.**

⁵³ 1- Madison Metropolitan Sewage District, 2015. « Optimisation des adoucisseurs d'eau pour réduire le chlorure »

2- BioSolutions, 2004. « Fiche technique sur les adoucisseurs d'eau et les eaux usées ».

3- WTD, 2018. « Adoucisseurs d'eau et systèmes de fosse septique ou de traitement des eaux usées, effet des adoucisseurs d'eau sur les stations d'épuration.

4- SUEZ, 2017. Impact de l'adoucissement de l'eau pour les consommateurs et l'environnement.

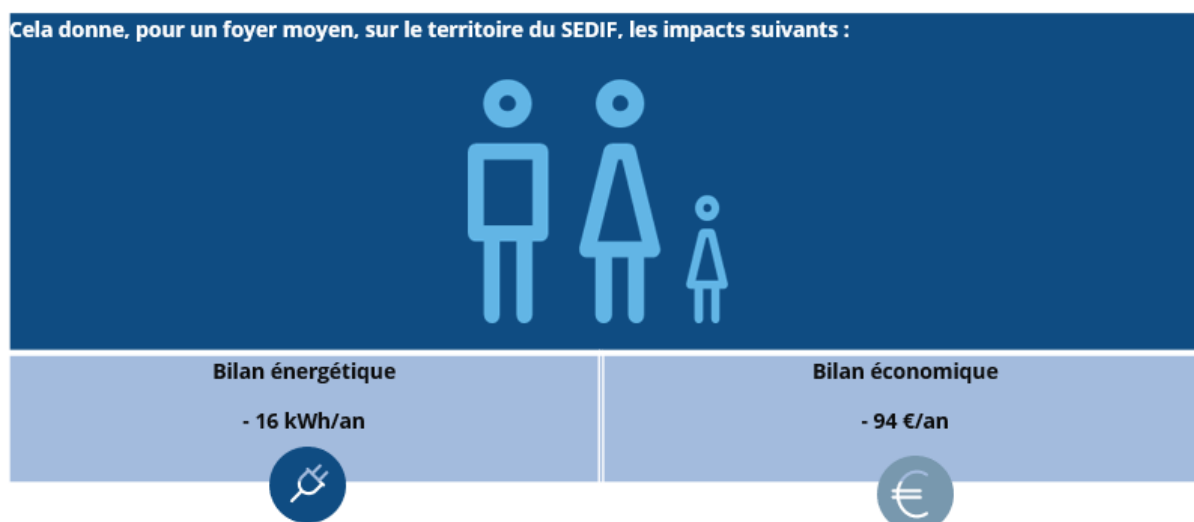
Conclusions et enseignements clés

1 Analyse critique des résultats

Afin d'apporter, dans une certaine mesure, un regard critique aux résultats de son analyse, l'étude Deloitte de 2019 avait comparé ses résultats avec ceux d'autres projets de décarbonation collective, déjà déployés, et présentés ci-dessous :

- SEOP (Société des Eaux de l'Ouest Parisien) : Leur processus de traitement permettra en moyenne une économie de 200 € par an et par foyer⁵⁴. À noter que le type de traitement utilisé est la décarbonation à la soude pour une dureté de l'eau avant traitement de 31,5 °f et après traitement à 20 °f. Le débit par jour de l'installation est 100 000 m³ pour un montant total de l'investissement de 12 millions €.
- SUEZ : depuis juillet 2018, 500 000 habitants des Yvelines et des Hauts-de-Seine bénéficient d'une eau adoucie grâce à la décarbonation collective. Le débit par jour de l'installation est 120 000 m³ avec un l'investissement de 15 millions €. Selon l'installation, l'impact financier (les surcoûts) de la mise en place de la décarbonation collective est 26 € par an en moyenne pour un foyer de 4 personnes (sur la base d'une consommation de 120 m³)⁵⁵.

Les résultats de l'évaluation du projet portée par le projet du SEDIF sont cohérents avec le projet porté par la Société des Eaux de l'Ouest parisien, car il permet une économie moyenne annuelle notable par foyer. Pour rappel, le projet de décarbonation collective du SEDIF permettrait (voir Synthèses des résultats du bilan) :



⁵⁴ SEOP, 2017. « La décarbonation : Une eau plus douce pour 2018. » Disponible à l'adresse : www.seop.fr/eau-dans-ma-commune/VERSAILLES-78646/133630/la-decarbonation

⁵⁵ Grand Paris Seine et Oise, 2018. « Une eau potable plus douce grâce à la nouvelle usine de Flins/Aubergenville ». Disponible à l'adresse : <https://gpseo.fr/la-communaute-urbaine/les-competences/eau-et-assainissement/une-eau-potable-plus-douce-grace-la>

D'après le ministère de la transition écologique et de la cohésion des territoires, l'empreinte carbone d'un Français s'élève en 2022 à 8,9 tCO₂eq/an, ce qui revient à 20,5 tCO₂eq/an pour un foyer moyen⁵⁶. Aussi, la consommation moyenne d'électricité par mois et par foyer est de l'ordre de 390 kWh, soit 4 679 kWh par an⁵⁷. Les économies énergétiques et environnementales (CO₂eq émis) induites par la mise en place du projet du SEDIF, respectivement de 16kWh/an/foyer et 40 kg CO₂eq/an/foyer, sont, par comparaison, d'envergure limitée. Aux vues des résultats de l'étude, nous pouvons cependant conclure que le projet permettrait de générer ses propres compensations, tout en permettant une économie, même négligeable.

Différents angles de lecture et éléments sont à prendre en compte pour la compréhension des résultats de cette étude, et leur représentativité :

- **La disponibilité des données fiables** : Il existe à ce jour peu d'informations quantifiées, fiables, publiquement disponibles et représentatives des différents postes de consommation d'eau sur les impacts du calcaire. Lorsque l'information existe, elle reste disséminée et souvent issue de sources à caractère commercial. Pour faire face à ce défi, un regard critique (via des recherches bibliographiques complémentaires, consultation avec des experts, etc.) est apporté sur les données, quand ceci était pertinent.
- Dans la mesure du possible, les méthodes de calculs ont été basées sur les données quantitatives provenant des sources les plus fiables et objectives possibles par ex. priorité sur les études scientifiques avec les données quantitatives plutôt que les études à caractère commercial et l'application des hypothèses justifiées et prudentes. Dans les cas où les données disponibles semblaient douteuses ou peu fiables, l'équipe a pris une approche conservatrice et prudente, quitte à ne pas quantifier certains impacts et résultats dont les données sont trop peu fiables. Ainsi, nous pouvons noter que :
 - La consommation de certains produits dont le dosage est lié à la dureté de l'eau, notamment les adoucissants et les produits anticalcaires, n'a pas été évaluée.
 - Les émissions de CO₂ liées à l'utilisation d'adoucisseurs individuels n'ont pas été prises en compte, en raison du manque de données sur la consommation en sel d'adoucissement.
 - La diversité des types d'emballage des produits d'entretiens et le manque de données relatives ne nous ont pas permis de les prendre en compte dans le calcul de la réduction des déchets plastiques en conséquence de la décarbonatation.
 - Aussi, le volet de la précédente étude sur l'impact du calcaire dans le milieu professionnel n'a pas été mis à jour.

Tout au long du rapport, des précisions sont apportées, au besoin, sur les sources utilisées et le niveau de fiabilité des données. En outre, le degré d'incertitude relatif aux certains résultats et les hypothèses sous-jacentes sont précisés.

- **L'applicabilité des données** : En plus de la disponibilité des certaines données, surtout quantitatives, l'applicabilité des données au contexte du SEDIF a nécessité parfois des arbitrages. Par exemple à cause des différences concernant les valeurs de références selon les sources, paramètres techniques, etc. employés. Pour relever ce défi, les hypothèses et les méthodes de calculs ont été établis pour assurer une applicabilité et une pertinence maximale vis-à-vis des spécificités du territoire SEDIF. Pour assurer une transparence maximale, toutes les hypothèses qui ont été développées et utilisées dans le calcul des impacts potentiels ont été clairement présentées dans la partie principale du rapport ainsi que dans l'annexe, le cas échéant. De plus, des explications détaillant les raisonnements derrière nos hypothèses et / ou méthode de calcul sont également fournies, afin de pouvoir être challengé le cas échéant.

⁵⁶ INSEE, 2022, Dossier complet Région d'Île-de-France, données 2019.

⁵⁷ Analyse de la Commission de régulation de l'énergie - 2016

- **Le comportement des consommateurs** : Pour certains indicateurs évalués, le comportement ou changement de comportement effectif des consommateurs est clé (par exemple, concernant le passage de l'eau embouteillée à l'eau du robinet ou les impacts liés au prolongement de la durée de vie des équipements électroménagers). Même si les équipements électroménagers sont plus performants en termes de consommation énergétique ou durent plus longtemps grâce à la décarbonatation collective par rapport au scénario de référence avec une eau dure, cela n'indique pas nécessairement que les consommateurs ne remplaceront pas quand même le produit (par ex. pour des nouveaux modèles, dotés des dernières tendances technologiques). Similairement, même avec une eau du robinet adoucie grâce à la décarbonatation, certaines personnes continueront quand même à consommer de l'eau en bouteille (par ex. en raison de facteurs culturels ou éducatifs divers). Des hypothèses conservatrices ont donc été utilisées pour refléter cet enjeu de comportement du consommateur. Enfin, d'autres facteurs importants tels que la fluctuation des prix de l'électricité et de l'eau et leur impact sur les pratiques des consommateurs sont à considérer.

2 Les pistes à approfondir

Les résultats de l'évaluation des impacts attendus de la décarbonatation prévue par le projet du SEDIF démontrent qu'il existe de nombreux avantages potentiels pour ses usagers – depuis les économies liées au fait de ne plus avoir à acheter des adoucisseurs jusqu'à la réduction de leurs factures d'électricité. Certaines recommandations sont suggérées ici afin d'assurer que le projet de décarbonatation du SEDIF atteigne son plein potentiel et maximise les avantages pour ses consommateurs :

- **Une campagne de communication et des actions d'accompagnement :** La sensibilisation des usagers est clé afin de s'assurer que la question de la décarbonatation soit bien reçue, obtienne le soutien nécessaire des personnes impliquées et que les usagers aient à disposition les informations utiles (les conseils sur la non-utilisation ou les réglages d'utilisation des adoucisseurs pour ne pas avoir une eau trop douce et donc corrosive) au bon fonctionnement du nouveau système. Pour cela, des actions de valorisation peuvent permettre une meilleure diffusion des résultats de l'étude : publication et diffusion d'un document de communication destiné soit à tout public ou alors ciblé par catégorie d'usagers. Par exemple, pour la catégorie d'usagers professionnelle, il peut s'avérer plus efficace de planifier des campagnes de communication ciblées en fonction des différents types d'acteurs représentés.
- **Impacts indirects du projet de décarbonatation :** Enfin, bien que l'analyse des impacts indirects du projet n'entre pas dans le cadre de la présente étude, elle pourrait fournir des informations supplémentaires pour compléter et nuancer les résultats déjà établis. A titre d'exemple, le projet de décarbonatation collective pourrait avoir des impacts indirects sur certains secteurs tels que l'industrie de l'eau embouteillée, les fabricants d'adoucisseurs et de produits d'entretien. Aussi, le projet pourrait amener à la création d'emplois liés à la mise en œuvre et à l'exploitation de nouvelles installations de décarbonatation, mais aussi l'augmentation des activités de recherche et de l'innovation liées aux techniques de décarbonatation rentables et respectueuses de l'environnement. Enfin, un potentiel de nouveaux marchés liés à la valorisation des coproduits liés aux procédés de décarbonatation est imaginable.

Annexes

Annexe 1 : Description des catégories et indicateurs d'impact

Les définitions des catégories des impacts tels qu'ils sont employés dans l'étude sont :

- **Impacts environnementaux** : les impacts environnementaux relatifs à une eau trop dure concernent surtout la consommation de produits d'entretien, la performance des appareils électroménagers domestiques et la production des déchets.
- **Impacts socio-économiques** : les impacts socio-économiques relatifs à une eau trop dure couvrent les aspects tels que la satisfaction des consommateurs et les économies liées à la diminution de l'achat des produits comme les produits d'entretien et l'eau en bouteille.
- **Impacts sanitaires** : les impacts sanitaires d'une eau trop dure concernent 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 sur la santé humaine.

Les indicateurs employés dans l'évaluation d'impacts et leurs descriptions sont détaillés dans les tableaux suivants.

Impacts environnementaux	
Indicateurs	Description / pertinence
Consommation des produits d'entretien	L'eau dure réduit le pouvoir moussant et nettoyant des savons et des détergents en les faisant précipiter. L'efficacité des produits d'entretien diminue au fur et à mesure que croît la dureté de l'eau, favorisant la consommation de ces produits. De fait, en décarbonatant l'eau, les usagers consommeraient moins de produits d'entretien. Cet indicateur mesure l'impact potentiel de la dureté de l'eau sur la consommation des produits d'entretien. Les produits d'entretien couverts par cet indicateur et leur poste de consommation respective sont : La lessive (Linge) ; Le produit vaisselle (Vaisselle) ; et Le savon corporel (Hygiène personnelle).
Consommation d'énergie des équipements électroménagers et des chauffe-eaux	Le calcaire est un isolant thermique qui a un effet de barrière thermique entraînant une perte d'énergie. Une eau dure nécessite plus d'énergie pour la faire chauffer qu'une eau douce. Cet indicateur cherche donc à mesurer l'impact de la dureté de l'eau sur la consommation d'énergie des équipements. Les équipements électroménagers couverts par cet indicateur et leur poste de consommation respective sont : Chauffe-eau à combustible ; Machine à café ; Bouilloire ; Machine à laver ; et Lave-vaisselle.
Emissions de CO ₂	En fonction de la dureté de l'eau, les dépôts de calcaire peuvent se former dans les chauffe-eaux et les équipements électroménagers utilisant de l'eau. Le calcaire est un isolant thermique qui a un effet de barrière thermique

Impacts environnementaux	
Indicateurs	Description / pertinence
	<p>entraînant une perte d'énergie. Les équipements consommeront donc plus d'énergie pour fonctionner normalement et cela entraînera une augmentation des émissions de CO₂. Une eau dure nécessite donc plus d'énergie pour la faire chauffer qu'une eau douce.</p> <p>Cet indicateur mesure l'impact de la dureté de l'eau et les émissions de CO₂ associés des équipements suivants :</p> <p>Chauffe-eau ; Machine à café ; Bouilloire ; Machine à laver ; et Lave-vaisselle.</p> <p>De plus, les émissions de CO₂ proviennent de la consommation élevée de détergents et savon et de bouteilles d'eau.</p>
Durée de vie des équipements électroménagers	<p>Une eau dure peut former du calcaire et encrasser les équipements et les canalisations notamment si l'eau est chauffée car le calcaire précipite plus rapidement. Les équipements tels que les machines à laver, les bouilloires, les lave-vaisselles ou les chauffe eau se dégradent ainsi plus rapidement en fonction de la dureté de l'eau. Cet indicateur couvre les impacts de la dureté de l'eau sur la durée de vie des équipements électroménagers suivants :</p> <p>Chauffe-eau (à combustible et électrique) ; Machine à café ; Bouilloire ; Machine à laver ; et Lave-vaisselle.</p>
Production des déchets	<p>Une proportion non négligeable d'utilisateurs ne boit pas l'eau du robinet à cause de sa teneur en calcaire. La décarbonatation pourrait potentiellement augmenter le nombre de personnes buvant l'eau du robinet et ainsi réduire le volume des déchets de bouteilles d'eau en plastique. La consommation d'eau embouteillée produit en moyenne 10kg/an/pers de déchets.</p>
Efficacité de traitement des eaux usées	<p>Il n'y a pas de données sur l'impact direct de la diminution de la dureté sur le traitement des eaux usées (présence de chlorure et de sodium dans les eaux usées). Selon la littérature, il y a une réduction de 27% à 47% de la concentration de chlorures dans les eaux usées.</p>
Réduction de l'adoucissement de l'eau brute	<p>Cet indicateur ne concerne que la catégorie d'utilisateurs professionnelle. Les postes de consommation concernées par cet indicateur sont les usages techniques, la fabrication des produits et la production de vapeur qui nécessitent l'adoucissement de l'eau.</p>
Réduction de la décarbonatation de l'eau brute	<p>Cet indicateur concerne que le secteur agroalimentaire qui a été évalué dans la catégorie d'utilisateurs professionnelle et mesure les quantités de sodium et de chaux utilisées dans les procédés d'adoucissement.</p>
Réduction du rejet de saumures dans l'environnement	<p>Cet indicateur mesure la réduction de chlorure et de sodium rejetée dans l'environnement du aux procédés industriels pour l'adoucissement et le traitement des eaux usées.</p>
Réduction des émissions de CO ₂ liées à l'adoucissement	<p>Il s'agit des réductions des émissions de CO₂ liées à l'utilisation des sels et / ou de la chaux pour l'adoucissement dans les secteurs industriels évalués.</p>

Impacts environnementaux

Indicateurs	Description / pertinence
Réduction de la consommation d'eau	Il n'y a pas de données sur l'impact direct de la diminution de la dureté sur le traitement des eaux usées. L'étape de régénération de la résine du procédé d'adoucissement cause une augmentation de la consommation d'eau. En effet durant cette phase, les adoucisseurs peuvent consommer et rejeter jusqu'à 200 litres d'eau par régénération. La fréquence de régénération peut varier de 4 à 7 fois par mois ; selon l'installation, ce qui provoque un impact conséquent sur la consommation d'eau et la facture.

Impacts socio-économiques

Indicateurs	Description / pertinence
Economies liées à la durée de vie des équipements et leur entretien	Le calcaire encrasse les équipements ménagers qui doivent alors être remplacés plus régulièrement. En décarbonatant l'eau, les équipements auront une durée de vie plus importante et les usagers feront des économies.
Economies liées à la consommation énergétique des équipements	Les dépôts de calcaire forment des barrières thermiques dans les équipements ménagers. Ceux-ci ont alors besoin de plus d'énergie pour fonctionner normalement. La décarbonatation permettrait de réduire la consommation énergétique de ces appareils et permettrait ainsi aux usagers de faire des économies.
Economies liées à la consommation d'eau en bouteille	Une proportion non négligeable d'usagers ne boit pas l'eau du robinet à cause de sa teneur en calcaire. La mise en place de la décarbonatation permettrait à ces usagers de changer leurs habitudes pour boire de l'eau du robinet. Ils réaliseraient alors des économies en arrêtant leur consommation de bouteille d'eau en plastique.
Satisfaction des usagers	Suivant la décarbonatation, la satisfaction globale des usagers quant à la qualité, le goût, l'odeur et la quantité de calcaire dans l'eau peut varier.
Economies liées aux coûts d'adoucissement et le traitement des chlorures dans les eaux usées	Cet indicateur ne concerne que la catégorie d'usagers professionnelle. Cet indicateur mesure les économies réalisées par les industriels liés à l'adoucissement et le coût (l'achat du sel et / ou de la chaux) pour les traitements des eaux.

Impacts sanitaires

Indicateurs	Description / pertinence
Besoins en minéraux	Cet indicateur évalue l'impact de la décarbonatation sur les apports en minéraux. La décarbonatation pourrait modifier la concentration en minéraux de l'eau. L'homme a des besoins journaliers en calcium, sodium et magnésium qu'il faut respecter. La concentration en minéraux de l'eau doit être surveillée. L'eau participe très peu à l'apport en calcium et magnésium (majoritairement apportés via l'alimentation notamment les produits laitiers). Une différence de dureté de 5°f entrainerait une réduction de 3% du potentiel d'apport en minéraux/jour, réduction à priori non significative car les apports moyens en calcium sont de 930 mg/j chez les adultes de 18-79 ans et 838 mg/j chez les enfants de 3-17 ans).
Dissolution des métaux lourds	La mise en place de la décarbonatation collective pourrait contribuer à réduire le risque 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

Impacts sanitaires	
Indicateurs	Description / pertinence
	le pH d'équilibre de dissolution du plomb est élevé. La règle dite des 3 x 8 (pH \geq 8, un TAC (Alcalinité totale de l'eau) \geq 8°f et un THCa (titre hydrométrique calcique) \geq 8°f) est le moyen mnémotechnique utilisé lors de la neutralisation et/ou la reminéralisation des eaux douces uniquement. Cependant, une eau douce ou très douce est généralement agressive et également corrosive. Les eaux douces dissolvent le fer, le plomb, le zinc et le cuivre des tuyaux. Les eaux ainsi contaminées présentent alors des risques pour la santé.
Perturbation du fonctionnement de l'organisme via l'apport en sodium	L'apport significatif en sodium dans l'eau potable est principalement dû à la décarbonatation à la soude et aux adoucisseurs individuels à base de résines échangeuses d'ions. Cet apport est négligeable pour la plupart des individus (équivalent à la quantité de sel présent dans une baguette de pain), mais pourrait représenter un risque pour les personnes sensibles notamment celles ayant un régime strict en sel, souffrant d'hypertension, les personnes cardiaques ou les femmes enceintes.
Formation de tartre et développement de microorganismes	Une eau dure entraîne la formation de plaque de tartre qui va servir de milieu de culture à des organismes pathogènes et qui peuvent contaminer l'eau. Lorsque la dureté de l'eau augmente de 10°f à 30°f, le potentiel de précipitation de calcaire de l'eau (CCPP) passe de 34,27 à 85,02. Ainsi, plus l'eau est dure, plus le potentiel de dépôt de calcaire augmente et plus le risque de développement des pathogènes dans les canalisations est élevé.
Problèmes cutanés	La dureté de l'eau agit sur le potentiel de précipitation du savon. Les dépôts de savon restant sur la peau peuvent induire des problèmes cutanés (eczéma, peau atopique, peau sèche, etc.). Pour une différence de dureté de 6.5°f, la prévalence de l'eczéma est réduite de 1.5%. Les études montrent une corrélation significative entre le degré de dureté de l'eau et l'atopie. Ainsi une exposition prolongée à une eau dure entraînerait une augmentation du risque d'eczéma. En revanche, le mécanisme d'action n'a pas encore été déterminé.
Développement de pathogènes dans les adoucisseurs individuels	Le mauvais entretien ou la mauvaise utilisation des adoucisseurs individuels entraînent le développement de microorganismes pathogènes dans les filtres qui peuvent contaminer l'eau. Ce risque augmente après des périodes de stagnation et en fin de cycle de vie de l'appareil. Les résines cationiques ou les résines échangeuses d'anions des adoucisseurs individuels doivent être régénérées et désinfectées régulièrement. Le développement bactérien est important et il concerne tant les germes à 22°C qu'à 37°C dont les rapports d'accroissements peuvent parfois être de 1 à 500. Les oocystes de <i>Cryptosporidium</i> ont une taille comprise entre 4 et 6µm, ainsi tout système de filtration avec un seuil de coupure inférieur ou égale à 1µm est susceptible de retenir les oocystes et d'induire une contamination. Cependant, même si une contamination bactériologique a été mise en évidence, elle n'est souvent pas suffisamment importante pour induire une pathologie chez l'utilisateur.

Annexe 2 : Valeurs de référence

Les valeurs de référence utilisées pour le scénario de référence, le calcul des impacts et la comparaison des impacts des scénarios de dureté cibles sont récapitulées ci-dessous pour chaque catégorie d'usager. Les Tableau 30 et Tableau 31 résument les valeurs de référence pour les particuliers, collectivités et gestionnaires d'immeuble.

Tableau 30 : Valeurs de référence – usages domestiques (particulier, collectivité, gestionnaire d'immeuble)

Indicateur : Économies d'énergie			
Paramètres de calcul		Valeur / unité	Source
Nombre de personnes par foyer en moyen en Ile-de-France		2,29 personnes	INSEE, 2022 ⁵⁸
Emissions de CO ₂		1 kWh = 56,9 gCO ₂ e	ADEME ⁵⁹
Fréquence d'utilisation des équipements électroménagers (par foyer)	Lave-linge	3,8 fois par semaine	ADEME, 2022
	Lave-vaisselle	3,19 fois par semaine	ADEME, 2017
Couverture des usagers des équipements domestiques ⁶⁰	Lave-linge	97 % de foyers	GIFAM, 2022 ⁶¹
	Lave-vaisselle	67 % de foyers	GIFAM, 2022
	Machine à café	100 % de foyers	GIFAM, 2022
	Bouilloire	63 % de foyers	GIFAM, 2022
	Chauffe-eau à combustible	54 % de foyers	GIFAM, 2021 ⁶²
Durée de vie moyenne (an)	Lave-linge	10 ans	ADEM, 2019 ⁶³
	Lave-vaisselle	10 ans	ADEME, 2019
	Machine à café	5 ans	ADEME, 2019
	Bouilloire	6 ans	ADEME, 2019
	Chauffe-eau	17 ans	ADEME, 2019

Indicateur : Réduction de la quantité de déchets

Paramètres de calcul	Valeur	Source
-----------------------------	---------------	---------------

⁵⁸ INSEE, 2022, Dossier complet Région d'Île-de-France, données 2019.

⁵⁹ ADEME, Centre de ressources sur les bilans de gaz à effet de serre / Site Bilan GES, Données issues du Base Carbone pour « Electricité - 2021 - mix moyen - consommation. » Disponible à l'adresse : <http://bilans-ges.ademe.fr/fr/basecarbone/donnees-consulter/liste-element/categorie/64>

⁶⁰ Couverture des usagers sur le territoire SEDIF.

⁶¹ GIFAM, 2022, Conférence de presse (données 2021)

⁶² Etude Gifam Insights menée en avril 2021 auprès de 927 Français (hors parc et ventes)

⁶³ ADEME, 2019, Modélisation et évaluation environnementale de produits de consommation et biens d'équipement

La consommation d'eau en bouteille 10 kg/an/personne de déchets Novethic (2018)⁶⁴

Indicateur : Économies (€/an)

Paramètres de calcul	Valeur	Source
Prix d'1kWh d'électricité	0,174 €TTC/kWh	Tarif réglementé EDF pour un foyer moyen en 2022
Prix d'achat moyen		
Lave-linge	560 € (unité)	i-Comparateur, 2022 ⁶⁵
Lave-vaisselle	600 € (unité)	i-Comparateur, 2022
Machine à café	82 € (unité)	i-Comparateur, 2022
Bouilloire	67 € (unité)	i-Comparateur, 2022
Chauffe-eau	375 € (unité)	i-Comparateur, 2022
Eau en bouteille 0,70 €/1,5L		Selon un site de référence sur les prix des produits ⁶⁶
Le savon corporel	10,95 €/kg	Prix moyen selon les sites de distributeurs ⁶⁷
La lessive	3,55 €/kg	Etude Xerfi
La poudre lave-vaisselle	5 €/kg	Etude Xerfi
Adoucisseurs	163 €/an/foyer	Moyenne des coûts des deux adoucisseurs les plus vendus en France.
Durée de vie moyenne (an)	Voir valeurs pour la durée de vie moyenne présentées dans les paramètres de calcul pour l'es économies d'énergie.	
Les coûts liés à la mise en œuvre de la décarbonation collective	Coûts estimés d'investissement, exploitation et maintenance pour trois usines : Choisy-le-Roi, Neuilly-sur-Marne et Méry-sur-Oise	SEDIF

⁶⁴ Novethic, 27 mars 2018, « Eau du Robinet et Eau en Bouteille sur le ring de l'Ecologie ». Disponible à l'adresse : www.novethic.fr/actualite/infographies/isr-rse/infographie-eau-du-robinet-et-eau-en-bouteille-sur-le-ring-de-l-ecologie-145618.html

⁶⁵i-Comparateur, 2022, Prix des Cafetières en vente. Disponible à : <https://www.i-comparateur.com/comparerer-prix-x10c0113b0.htm>

⁶⁶ Combien coute, site internet, 2023. « Quel est le prix d'une grande bouteille d'eau (1,5L) en France en 2023 ?

⁶⁷ Site du distributeur Monoprix, disponible à l'adresse : <https://www.monoprix.fr/savon-solide-0000489>

Tableau 31 : Valeurs de référence – impact environnemental de la mise en place de la décarbonatation collective

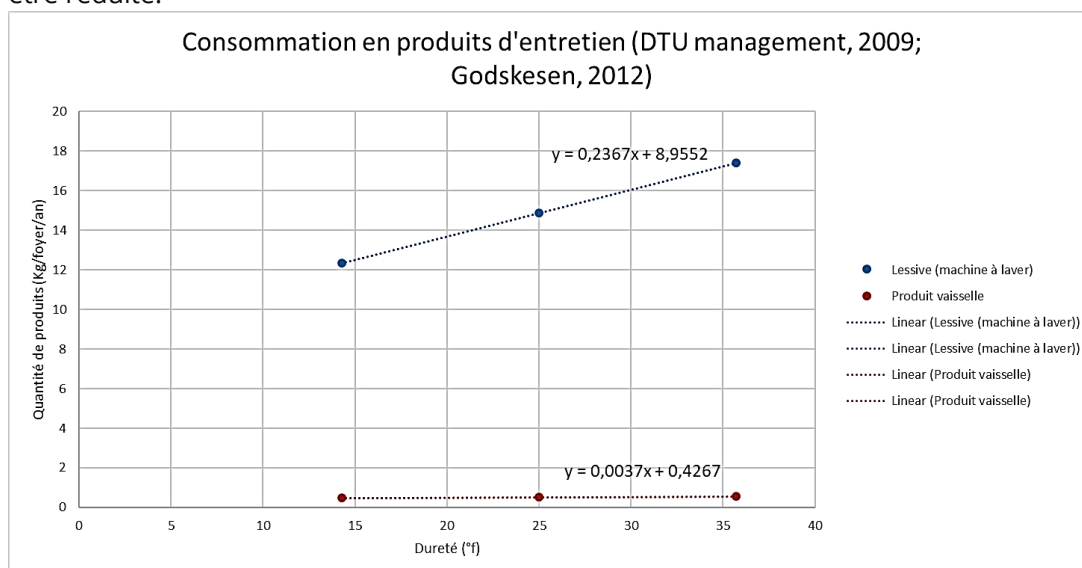
Indicateur : Environnement			
Paramètre modélisé	Jeu de données	Valeur	Source
Membranne – fin de vie	Waste plastic, mixture {RoW} treatment of waste plastic, mixture, sanitary landfill Cut-off, U	0,117kgCO ₂ eq/kg	Ecoinvent (3.8)
Membranne - production	market for glass fibre reinforced plastic, polyamide, injection moulded GLO	9,19 kgCO ₂ eq/kg	Ecoinvent (3.8)
Produit sequestrant	Phosphorus pentachloride {GLO} market for Cut-off, U	3,05 kgCO ₂ eq/kg	Ecoinvent (3.8)
Acide citrique	Citric acid {GLO} market for Cut-off, U	6,16 kg CO ₂ eq/kg	Ecoinvent (3.8)
Acide chlorhydrique	Hydrochloric acid, without water, in 30% solution state {RER} market for Cut-off, U	0,58 kgCO ₂ eq/kg	Ecoinvent (3.8)
Soude	Sodium hydroxide, without water, in 50% solution state {GLO} market for Cut-off, U	0,78 kgCO ₂ eq/kg	Ecoinvent (3.8)
Construction usines	Construction d'un bâtiment industriel en béton	825 kgCO ₂ eq/m ²	Base carbone, ADEME
Consommation énergétique	Empreinte carbone liée à la consommation d'énergie	0,0569 kgCO ₂ eq/kWh	Base carbone, ADEME
Boues	Emissions de N ₂ O liées à l'épandage des boues	0,0004 kgCO ₂ eq/m ³ d'eau	Base carbone, ADEME

Annexe 3 : Données d'impact et hypothèses employées

Impacts environnementaux

Indicateurs Hypothèses et calculs

Consommation de produits d'entretien **Hypothèse :** Grâce à la décarbonatation, la consommation de produits d'entretien peut être réduite.

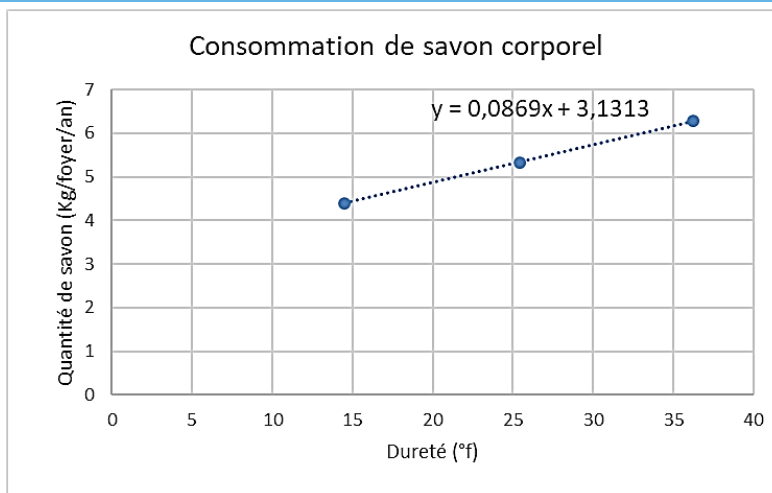


L'étude a été réalisée au Pays-Bas, les hypothèses de calcul étaient donc spécifiques aux pratiques de ce pays. Par exemple ils ont estimé que les usagers utilisent le lave-linge et le lave-vaisselle à une fréquence d'1 fois/semaine, ce qui n'est pas le cas en France. Nous avons donc extrapolé à la France en utilisant les fréquences d'utilisation des équipements électroménagers estimées par l'ADEME : en moyenne 3 fois/semaine pour le linge (donc 3 fois plus de lessive requise) et 4 fois/semaine pour la vaisselle (4 fois plus de produit vaisselle requis). Les résultats sont définis pour un foyer de 2,29 personnes.

Sources :
DTU Management, 2009
Godskesen, 2012
ADEME

Hypothèse : La décarbonatation permet de diminuer la consommation de savon corporel.

Consommation de savon corporel



Les résultats sont exprimés en kg/foyer/an pour un foyer de 2,29 personnes.

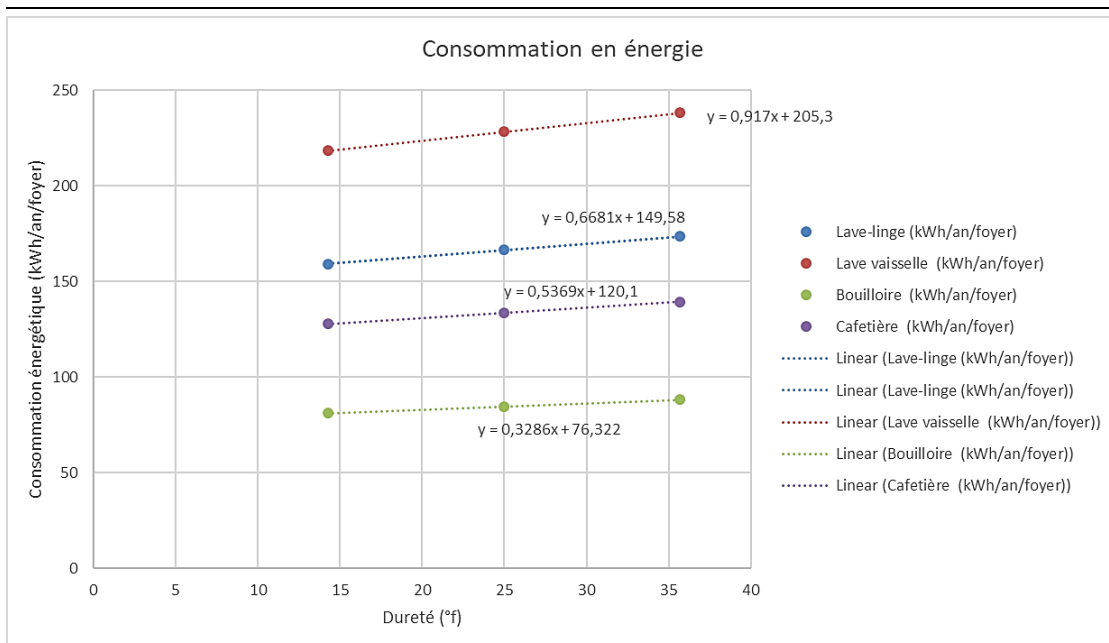
Sources :

DTU Management, 2009

Godskesen, 2012

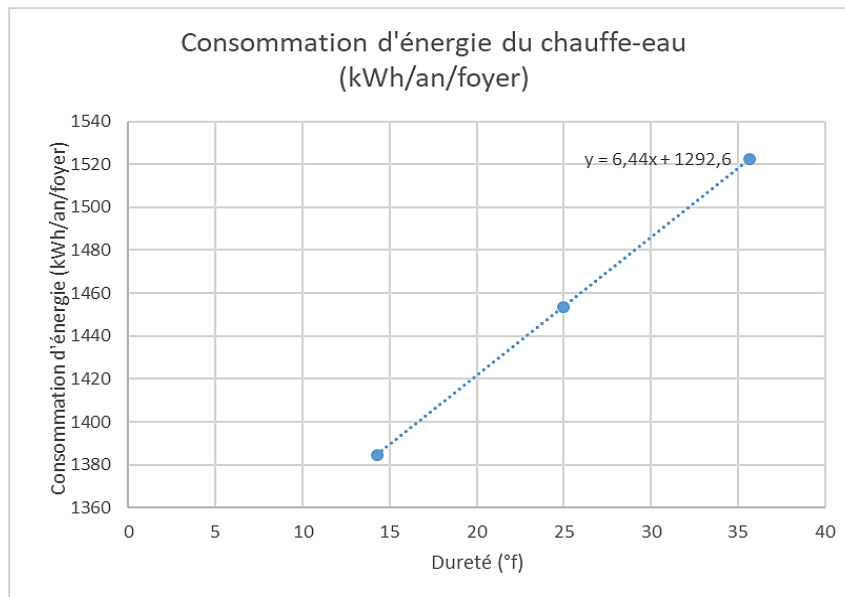
Consommation d'énergie de l'électroménager

Hypothèse : La décarbonation permet de réduire la consommation d'énergie des équipements électroménagers.



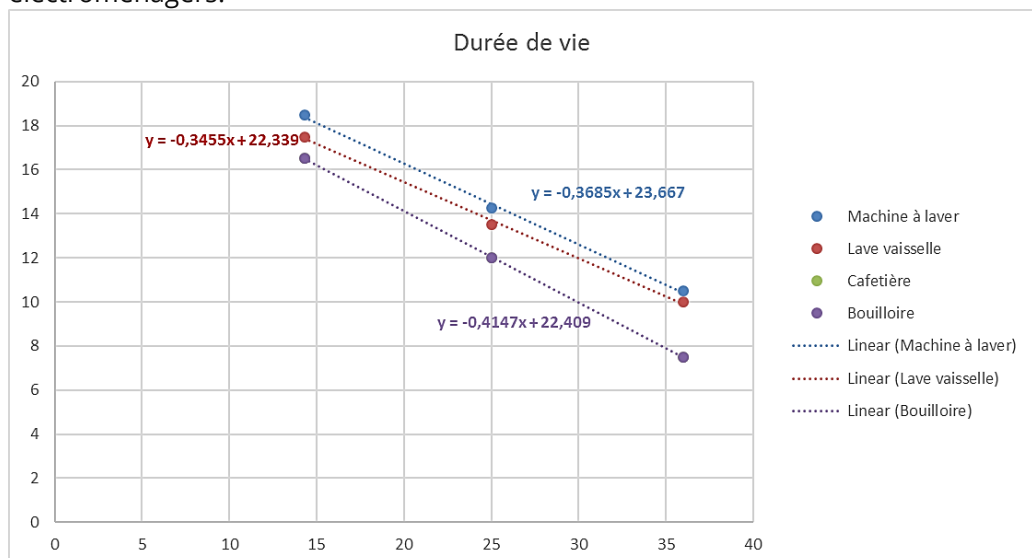
L'étude a été réalisée au Pays-Bas, les hypothèses de calcul étaient donc spécifiques aux pratiques de ce pays. Par exemple ils ont estimé que les usagers utilisent le lave-linge et le lave-vaisselle à une fréquence d'1 fois/semaine, ce qui n'est pas le cas en France. Nous avons donc extrapolé à la France en utilisant les fréquences d'utilisation des équipements électroménagers estimées par l'ADEME : 3,8 fois/semaine pour le linge et 3,19 fois/semaine pour la vaisselle. Les résultats sont exprimés en kWh/foyer/an pour un foyer de 2,29 personnes.

Quant à la consommation d'énergie du chauffe-eau, elle a été estimée en se basant sur le rapport Vedif : Vince F., Vidal A., 2010, Influence du traitement de l'eau potable sur l'entartrage des ballons d'eau chaude sanitaire (ECS).



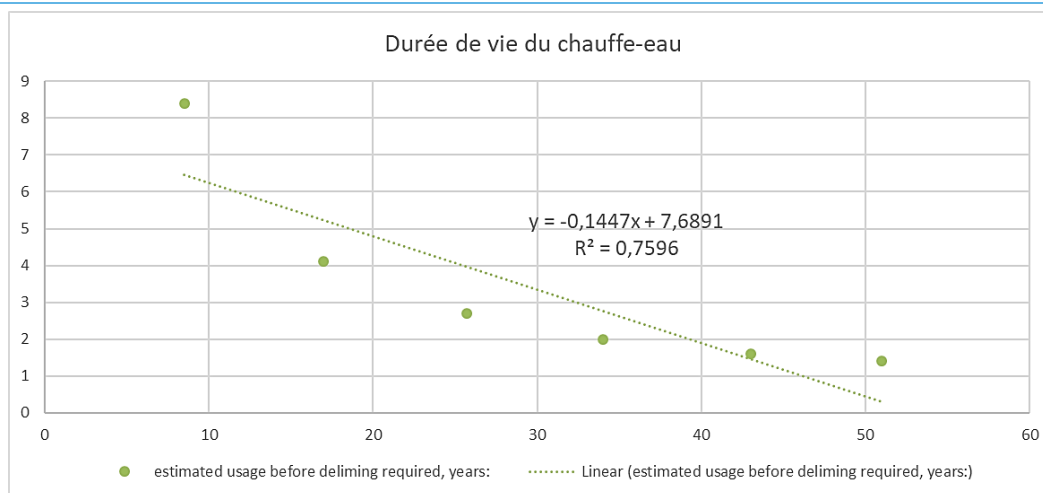
Sources :
DTU Management, 2009
Godskesen, 2012
Vince F., Vidal A., 2010
ADEME

Durée de vie de l'électro-ménager **Hypothèse** : La décarbonatation allonge la durée de vie des équipements électroménagers.



Sources :
DTU Management, 2009
WQRF, 2011
ADEME

Durée de vie du chauffe-eau **Hypothèse** : La décarbonatation allonge la durée de vie des équipements domestiques.



NB : cette équation : $y = -0,14x + 7,7$ n'est pas valable pour les valeurs de dureté élevée. Nous avons donc pris, comme ordonnée à l'origine la durée de vie moyenne issue du programme PEP Ecopassport.

La nouvelle équation est donc : $y = -0,1447x + 15$

Sources :

WQRF, 2011

Programme PEP Ecopassport : http://www.pep-ecopassport.org/fileadmin/webmaster-fichiers/PSR-0004-ed2.1-FR-2015_05_26.pdf

Efficacité de traitement des eaux usées

Hypothèse : La décarbonatation permet un traitement plus efficace de l'eau.

Il n'y a pas de données sur l'impact direct de la diminution de la dureté sur le traitement des eaux usées. Mais, il y a une réduction de 27% à 47% de la concentration de chlorures dans les eaux usées.

Sources :

Madison Metropolitan Sewage District, 2015

Biosolutions, 2004

WTD, 2018

Impacts socio-économiques

Indicateurs Hypothèses et calculs

Economies sur la durée de vie et l'entretien des équipements **Hypothèse :** La décarbonatation allonge la durée de vie des équipements électroménagers par rapport au scénario de référence avec une eau dure, et permet aux usagers de les remplacer moins fréquemment.

Calcul des économies dues à l'évitement de la réduction de la durée de vie des appareils électro-ménagers (pour chaque appareil) à partir des impacts environnementaux :

Coût d'origine (€/an) = Coût à l'unité / durée de vie initiale

Coût réduit (€/an) = Coût à l'unité / (durée de vie initiale + augmentation de la durée de vie)

Economies (€/an) = Coût d'origine - Coût réduit

Sources :

DTU Management, 2009

WQRF, 2011

Economies liées à la consommation énergétique des équipements	Hypothèse : La décarbonatation diminue la consommation en énergie des équipements et permet aux usagers de réaliser des économies. Les économies ont été évaluées à partir des impacts environnementaux
	Sources : DTU Management, 2009
	Sources : Insee, 2016 EDF

Impacts sanitaires

Indicateurs	Hypothèses et calculs
Besoins en minéraux	<p>Hypothèse : La décarbonatation modifie la teneur en minéraux de l'eau et à un impact sur les besoins journaliers.</p> <p>Une différence de dureté de 5°f entrainerait une réduction de 3% du potentiel d'apport en minéraux/jour, réduction à priori non significative car les apports moyens en calcium sont de 930 mg/j chez les adultes de 18-79 ans et 838 mg/j chez les enfants de 3-17 ans).</p> <p>TH1 = 20°f, apport en calcium et magnésium = 10% TH2 = 15°f, apport en calcium et magnésium = 7% DTH = 5°f, apport en calcium et magnésium = 3%</p> <p>Sources : Senat, 2003 ANSES, 2016 Kosisek, 2003 Galan, 2002</p>
Dissolution des métaux lourds	<p>Hypothèse : La décarbonatation peut jouer un rôle dans la dissolution des métaux lourds.</p> <p>Une différence de dureté de 10°f entrainerait une réduction de 30 à 50% de la dissolution de cuivre dans l'eau potable Une différence de dureté de 10°f entrainerait une réduction de la solubilité du plomb de 50%.</p> <p>Cuivre : THCa(initial) = 25 °f, THCa(final) = 15 °f DTH=10 °f, réduction de la solubilité du cuivre de 30% (étude 1, passage de 2,3mg/L Cu à 1,8 mg/L Cu) et 50% (étude 2) Plomb : THCa(initial) = 25 °f, THCa(final) = 15°f DTH=10 °f, réduction de la solubilité du plomb de 50%</p> <p>Sources : SUEZ, 2017 Hofman, 2006</p>
Perturbation du fonctionnement de	Hypothèse : L'ajout de sodium lors d'une décarbonatation utilisant de la soude peut perturber le fonctionnement de l'organisme.

l'organisme via l'apport en sodium	<p>Pas de donnée robuste disponible pour quantifier les impacts.</p> <p>Sources : Toxqui et Vaquero, 2016 Skipton, 2016</p>
Formation de tartre et développement de microorganismes	<p>Hypothèse : Les plaques de tartre favorisent le développement des pathogènes. La décarbonatation limite leur formation. Lorsque la dureté de l'eau augmente de 10°f à 30°f, le potentiel de précipitation de calcaire de l'eau (CCPP) passe de 34,27 à 85,02.</p> <p>Sources : Hu, 2017 SUEZ, 2017</p>
Problèmes cutanés	<p>Hypothèse : Une eau dure peut causer des problèmes cutanés (Eczéma, etc.). Pour une différence de dureté de 6.5°f, la prévalence de l'eczéma est réduite de 1.5%. Les études montrent une corrélation significative entre le degré de dureté de l'eau et l'atopie. Ainsi une exposition prolongée à une eau dure entraînerait une augmentation du risque d'eczéma. En revanche, le mécanisme d'action n'a pas encore été déterminé.</p> <p>TH= 10°f, la prévalence de l'eczéma est de 24.4% TH=3,52°f, la prévalence de l'eczéma est de 22.9% DTH=6,5, DPE=1.5%</p> <p>Sources : Miyake, 2004a Chaumont, 2012</p>
Développement de pathogènes dans les adoucisseurs individuels	<p>Hypothèse : Le mauvais entretien et la mauvaise utilisation des adoucisseurs individuels entraînent le développement de pathogènes. La mise en place de la décarbonatation permet aux usagers de ne plus avoir à utiliser d'adoucisseurs individuels.</p> <p>Le développement bactérien est important et il concerne tant les germes à 22°C qu'à 37°C dont les rapports d'accroissements peuvent parfois être de 1 à 500. Les oocystes de <i>Cryptosporidium</i> ont une taille comprise entre 4 et 6µm, ainsi tout système de filtration avec un seuil de coupure inférieur ou égale à 1µm est susceptible de retenir les oocystes et d'induire une contamination.</p> <p>Cependant, même si une contamination bactériologique a été mise en évidence, elle n'est souvent pas suffisamment importante pour induire une pathologie chez l'utilisateur.</p> <p>TH(final) = 10°f, CCPP = 34.27 TH(intermédiaire)= 20°f, CCPP = 64.43 TH(initial) = 30°f, CCPP= 85.02 DTH = 10°f; DTH= 30-20</p> <p>Sources : Rabier, 2004 Aquawal, 2005 ENSP, 2004</p>
Impacts de l'aluminium sur la santé	<p>Hypothèse : L'aluminium présent dans l'eau potable peut avoir des effets négatifs sur l'organisme.</p>

Pas de donnée robuste disponible pour quantifier les impacts.

Sources :

Tripathi, 2002

Peng, 2010

Bondy, 2016

Yokel, 2001

Annexe 4 : Benchmark des coûts des solutions individuelles d'adoucissement de l'eau

Nom adoucisseur	Marque	Type d'adoucisseur	Périmètre foyer	Périmètre litres
Fleck 5600 SXT 25L	Fleck	Adoucisseur d'eau à résine	1 à 4 personnes	25L
Water2Buy W2B200	Water2Buy	Adoucisseur d'eau à résine	1 à 6 personnes	1250L/jour
Water2Buy W2B800	Water2Buy	Adoucisseur d'eau à résine	1 à 6 personnes	4000L
AquaHouse EcoPlus XL	AquaHouse	Adoucisseur d'eau sans sel	1 à 10 personnes	20L
Toodo - Fleck 5800 SXT	Fleck	Adoucisseur d'eau magnétique	1 à 6 personnes	25L
BWT Perla Silk L	BWT	Adoucisseur d'eau à résine	2 à 5 personnes	20L
Clack WS1	Clack	Adoucisseur d'eau à résine	1 à 4 personnes	20L
Apic Callisto 22L	Apic	Adoucisseur d'eau à résine	4 à 6 personnes	22L
Autotrol 255/762	Autotrol	Adoucisseur d'eau à résine	4 à 6 personnes	20L
Be Soft XL	Talassa	Adoucisseur d'eau à résine	2 à 7 personnes	22L
Ecko 20L	Talassa	Adoucisseur d'eau à résine	1 à 6 personnes	20L
AEG Osmoseur AEGRO	AEG	osmoseur	-	6,4L / 5000L
Culligan Evolife	Culligan	Adoucisseur d'eau à résine	1 à 4 personnes	20L
100L Série 20 2"	Talassa	Adoucisseur d'eau à résine	-	100L
100L Série 7000	Talassa	Adoucisseur d'eau à résine	-	100L

Nom adoucisseur	Fourchette prix TTC	Coût achat TTC	Remarques	Source
Fleck 5600 SXT 25L	512-588 €	588 €	Top vente (BFM pratique + maisonae)	Adoucisseur d'eau 20L Fleck 5600 SXT complet avec accessoires - Adoucisseur Eau (adoucisseur-eau.com)
Water2Buy W2B200	370-419 €	399 €	Top vente (BFM pratique + maisonae)	Adoucisseur d'eau W2B200 – Water2Buy – Water Filtration Made Easy
Water2Buy W2B800	499 €	499 €		Adoucisseur d'eau W2B800 – Water2Buy – Water Filtration Made Easy
AquaHouse EcoPlus XL	600-650 €	600 €		EcoPlus XL Système de filtration de l'eau de la maison entière et adoucisseur d'eau sans sel. efficacité éprouvée de 99,6% : Amazon.fr: Cuisine et Maison
Toodo - Fleck 5800 SXT	659-779 €	739 €		Adoucisseur d'eau 25l fleck 5800 sxt complet avec accessoires - Adoucisseur-eau
BWT Perla Silk L	1202-1632 €	1 632 €		Adoucisseur BWT Perla Silk L BWT Shop (bwt-shop.fr)
Clack WS1	789-879 €	789 €		Adoucisseur d'eau 20L Clack WS1 volumétrique électronique - Adoucisseur Eau (adoucisseur-eau.com)
Apic Callisto 22L	689-849 €	689 €		Adoucisseur Callisto 22 L - APICsas Le meilleur rapport qualité prix
Autotrol 255/762	649-819 €	699 €		Adoucisseur d'eau 20L Autotrol 255/762 volumétrique électronique - Adoucisseur Eau (adoucisseur-eau.com)
Be Soft XL	1288-1895 €	1 894,98 €		Devis
Ecko 20L	1075-1908 €	1 564,04 €		Devis
AEG Osmoseur AEGRO	197 - 239 €	239 €	Osmoseur donc impact différent	Osmoseur d'eau AEG (aeg-traitementdeleau.fr)
Culligan Evolife	>2000 €	-	Coûts non disponibles en ligne	Adoucisseur Culligan Evolife – Adoucisseurs d'eau Culligan
100L Série 20 2"	-	4 833,72 €	Adoucisseur résidence	Devis
100L Série 7000	-	3 305,92 €	Adoucisseur station de lavage	Devis

Moyenne meilleures ventes	494 €
Moyenne générale	924 €
Fourchette de prix	399 à 1895 €

Annexe 5 : Mise à jour des nouvelles initiatives de décarbonatation depuis 2019

Cette section présente une actualisation 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. L'étude Deloitte de 2019 avait permis de distinguer cinq principaux procédés de décarbonatation 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.

Un benchmark a été réalisé en 2023 par l'équipe projet et a permis de répertorier 141 usines de décarbonatation dont 116 en France et 25 à l'étranger. Ces usines sont indiquées dans le fichier Excel joint en complément du rapport.

Annexe 6 : Revue bibliographique des impacts du calcaire sur la peau et les cheveux

Cette annexe présente un récapitulatif des études les plus récentes sur les impacts du calcaire sur la peau et les cheveux.

- **Études de référence les plus récentes sur les impacts sur la peau**

Auteur : Ezzamouri et al.

Année : 2022

Titre : Water hardness and atopic dermatitis in the first year of life in the New Hampshire Birth Cohort Study

Objectif : Des études ont fait état d'une prévalence plus élevée de l'eczéma infantile dans les régions où l'eau est dure. Ces études ont été menées dans des régions où l'eau est principalement dure, et peu de recherches ont exploré l'association entre la dureté de l'eau domestique, évaluée par le niveau de carbonate de calcium (CaCO₃), et l'eczéma dans les régions où l'eau est douce. Nous avons cherché à combler cette lacune en utilisant les données de la New Hampshire Birth Cohort Study (NHBCS), une cohorte permanente dont les participants vivent dans une région rurale des États-Unis où l'eau est naturellement douce. Nous avons également cherché à évaluer les preuves d'une interaction gène-environnement dans une région où l'eau est douce, à la suite de l'étude britannique sur les régions où l'eau est dure, où le risque d'eczéma était plus élevé chez les enfants exposés à l'eau la plus dure et qui présentaient des variantes de perte de fonction de la filaggrine.

Résultats : Cette étude a trouvé **peu de preuves d'une corrélation positive globale entre l'eczéma et le niveau de dureté de l'eau chez les jeunes enfants** de cette cohorte de naissance rurale aux États-Unis. En conclusion, les analyses d'une cohorte de naissance provenant d'un État rural des États-Unis où l'eau est principalement douce n'ont pas révélé de relation positive globale entre l'eczéma et le niveau de dureté de l'eau. **La dureté de l'eau n'est pas corrélée à l'eczéma infantile dans une région où l'eau est naturellement douce.**

Des études ont fait état d'une **prévalence plus élevée de l'eczéma infantile dans les régions où l'eau est dure, en particulier chez les enfants porteurs de la mutation de perte de fonction du gène de la barrière cutanée FLG**. Une étude transversale menée au Royaume-Uni dans les années 1990 a montré que les enfants en âge d'aller à l'école primaire vivant dans des régions où l'eau est dure présentaient un risque accru d'eczéma par rapport à ceux vivant dans des régions où l'eau est plus douce. Cette association a été confirmée chez des écoliers au Japon et en Espagne. Nous avons par la suite confirmé cette relation dans une étude transversale portant sur 1300 nourrissons britanniques. Une étude de cohorte de naissance danoise a également rapporté que la prévalence de l'eczéma entre 0 et 18 mois augmentait avec la dureté de l'eau. En revanche, la cohorte de naissance espagnole INMA n'a pas trouvé de différence significative dans la prévalence de l'eczéma entre les régions où l'eau est plus dure et celles où elle est plus douce chez les nourrissons à l'âge de 14 mois. Un essai randomisé britannique sur les adoucisseurs d'eau chez les enfants atteints d'eczéma modéré à sévère n'a pas montré d'amélioration de la sévérité de l'eczéma dans le groupe adoucisseur d'eau. Cependant, un essai de faisabilité randomisé récent a montré que l'introduction d'un adoucisseur d'eau dès la naissance conduisait à une prévalence plus faible de l'eczéma à l'âge de 6 mois, bien que l'essai n'ait pas eu la puissance nécessaire pour être confirmatif.

Articles cités :

- Jabbar-Lopez et al. 2021 Randomized controlled pilot trial with ion-exchange water softeners to prevent eczema (SOFTER trial).
- Jabbar-Lopez et al. 2020 Longitudinal analysis of the effect of water hardness on atopic eczema: evidence for gene environment interaction.

- Perkin et al., 2016 Association between domestic water hardness, chlorine, and atopic dermatitis risk in early life: A population-based cross-sectional study
- Font-Ribera et al. 2015 Water hardness and eczema at 1 and 4 y of age in the INMA birth cohort.
- Thomas et al., 2011 A Randomised Controlled Trial of Ion-Exchange Water Softeners for the Treatment of Eczema in Children
- Arnedo-Pena and Bellido-Blasco, 2007 Domestic water hardness and prevalence of atopic eczema in Castellon (Spain) schoolchildren
- Miyake et al., 2004 Ecological association of water hardness with prevalence of childhood atopic dermatitis in a Japanese urban area
- McNally et al., 1998 Atopic eczema and domestic water hardness

Auteur : Lopez et al.

Année : 2022

Titre : The association between domestic hard water and eczema in adults from the UK Biobank cohort study

Objectif : Plusieurs études ont fait état d'une prévalence plus élevée de l'eczéma dans les régions où l'eau est dure. Cependant, toutes les études sur ce sujet ont évalué ce phénomène chez les nourrissons et les enfants d'âge scolaire, alors que cette association n'a pas été étudiée chez les adultes.

L'objectif de l'étude est d'examiner l'association entre l'approvisionnement en eau dure domestique et la prévalence et l'incidence de l'eczéma chez les adultes.

Résultats : Nous avons observé une augmentation de la probabilité d'eczéma au départ pour chaque augmentation de concentration en CaCO_3 . En outre, l'exposition à de l'eau domestique dure ($> 200 \text{ mg L}^{-1}$ de CaCO_3) était associée à une augmentation du risque d'eczéma prévalent. En outre, une tendance linéaire significative a été observée, selon laquelle des niveaux croissants d'eau dure augmentaient le risque de prévalence de l'eczéma. Aucune association n'a été observée avec l'eczéma incident ou l'eczéma au cours du suivi. **L'augmentation des niveaux de dureté de l'eau domestique, mesurée par les concentrations de CaCO_3 , a été associée à une augmentation de la prévalence de l'eczéma chez les adultes, mais pas à une augmentation de l'incidence.** Des efforts continus pour réduire l'exposition à l'eau dure pourraient avoir un effet bénéfique sur la réduction du fardeau de l'eczéma chez les adultes.

À notre connaissance, il s'agit de la première étude à évaluer **l'association entre l'eau dure domestique et l'eczéma dans une cohorte d'adultes**. Les résultats de la plupart des études évaluant cette association chez les nourrissons et les enfants font état d'un risque plus élevé de prévalence de l'eczéma associé à une exposition à des concentrations plus élevées d'eau dure. Une étude d'observation chez les enfants a suggéré que la dureté de l'eau n'était pas associée à l'eczéma ; cependant, les groupes de comparaison n'étaient pas très différents en termes de niveaux de CaCO_3 . De même, un essai contrôlé randomisé n'a pas démontré qu'un adoucisseur d'eau (un appareil qui réduit la concentration d'eau dure dans le robinet) apportait un bénéfice supplémentaire aux patients atteints d'eczéma par rapport aux soins habituels. Toutefois, cet essai n'a duré que 12 semaines et a évalué la gravité de l'eczéma, et non sa prévalence. Une étude menée au Royaume-Uni sur des enfants de 6 et 7 ans fréquentant l'école primaire suggère que ceux qui vivent avec de l'eau domestique dure ont une prévalence accrue d'eczéma. De même, une étude menée en Espagne a montré que la prévalence de l'eczéma au cours de la vie chez les écoliers âgés de 6 et 7 ans était plus élevée chez ceux qui vivaient dans des zones où l'eau était dure. Une étude cas-témoins portant sur 80 jeunes adultes âgés en moyenne de 26 ans a montré que les sites cutanés lavés à l'eau dure augmentaient de manière significative les dépôts de sodium lauryl sulfate (SLS), qui à leur tour augmentaient la perte d'eau transépidermique et provoquaient une irritation cutanée.

Une revue systématique récente a montré une probabilité accrue de prévalence de l'eczéma chez les nourrissons et les enfants exposés à de l'eau dure par rapport à ceux exposés à de l'eau douce. Bien que la direction de l'association corresponde à ce que nous avons observé au départ pour la prévalence de l'eczéma chez les adultes en comparant les participants vivant dans des zones avec plus ou moins 200 mg L^{-1} de CaCO_3 , la force de l'association dans cette cohorte d'adultes est un peu plus faible. Il est possible que l'association s'estompe avec le temps, l'eczéma devenant moins répandu chez les adultes âgés d'environ 55 ans.

Articles cités :

- Jabbar-Lopez et al. 2021 The effect of water hardness on atopic eczema, skin barrier function: a systematic review, meta-analysis.
- Danby et al. 2018 The effect of water hardness on surfactant deposition after washing and subsequent skin irritation in atopic dermatitis patients and healthy control subjects.
- Kantor et al. 2017 Environmental risk factors and their role in the management of atopic dermatitis.
- Engebretsen et al., 2016 Prevalence of atopic dermatitis in infants by domestic water hardness and season of birth: cohort study
- Perkin et al., 2016 Association between domestic water hardness, chlorine, and atopic dermatitis risk in early life: A population-based cross-sectional study
- Font-Ribera et al. 2015 Water hardness and eczema at 1 and 4 y of age in the INMA birth cohort.
- Chaumont et al. 2012 Interactions between domestic water hardness, infant swimming and atopy in the development of childhood eczema.
- Thomas et al., 2011 A Randomised Controlled Trial of Ion-Exchange Water Softeners for the Treatment of Eczema in Children
- Arnedo-Pena and Bellido-Blasco, 2007 Domestic water hardness and prevalence of atopic eczema in Castellon (Spain) schoolchildren
- Miyake et al., 2004 Ecological association of water hardness with prevalence of childhood atopic dermatitis in a Japanese urban area
- McNally et al., 1998 Atopic eczema and domestic water hardness

Auteur : Jabbar-Lopez et al.**Année :** 2021**Titre :** The effect of water hardness on atopic eczema, skin barrier function: A systematic review, meta-analysis

Objectif : Il a été rapporté que l'eau domestique dure aggrave l'eczéma atopique et peut contribuer à son développement au début de la vie. Examiner la littérature sur la relation entre l'effet de la dureté de l'eau) sur le risque de développer l'eczéma atopique, son traitement existant et la fonction de barrière cutanée dans des études sur l'homme et l'animal.

Résultats : Les données d'observation regroupées de sept études portant sur 385 901 participants ont mis en évidence une **augmentation du risque d'eczéma atopique chez les enfants exposés à de l'eau plus dure par rapport à de l'eau plus douce**. Deux études mécanistes chez l'homme ont fait état d'un **dépôt plus important de laurylsulfate de sodium chez les personnes exposées à de l'eau plus dure** que chez celles exposées à de l'eau plus douce. Deux essais contrôlés randomisés comparant les adoucisseurs d'eau à l'eau courante n'ont pas montré de différence significative dans la gravité objective de l'eczéma atopique avec l'eau adoucie. Il existe une **association positive entre le fait de vivre dans une région où l'eau est dure (entre 76 et > 350 mg/L de CaCO₃) et l'eczéma atopique chez les enfants**. Rien ne prouve que les adoucisseurs d'eau domestiques améliorent la gravité objective de la maladie dans les cas d'eczéma atopique établis.

Articles cités :

- Jabbar-Lopez et al. 2019 Longitudinal analysis of the effect of water hardness on atopic eczema: evidence for gene–environment interaction.
- Engebretsen et al., 2016 Prevalence of atopic dermatitis in infants by domestic water hardness and season of birth: cohort study
- Font-Ribera et al. 2015 Water hardness and eczema at 1 and 4 y of age in the INMA birth cohort.

Auteur : Jabbar-Lopez et al.**Année :** 2021

Titre : Randomized controlled pilot trial with ion-exchange water softeners to prevent eczema (SOFTER trial)

Objectif : Des études d'observation suggèrent un risque accru d'eczéma chez les enfants vivant dans des régions où l'eau est dure par rapport à celles où l'eau est douce, et il est donc intéressant de savoir si l'adoucissement de l'eau peut prévenir l'eczéma. Nous avons évalué la faisabilité d'un essai pilote randomisé et contrôlé, en aveugle et en groupes parallèles, afin de vérifier si l'installation d'un adoucisseur d'eau domestique à échange d'ions avant la naissance dans les régions où l'eau est dure réduit le risque d'eczéma chez les nourrissons ayant des antécédents familiaux d'atopie.

Résultats : Un essai contrôlé randomisé montre que l'utilisation d'adoucisseurs d'eau pour la prévention de l'eczéma atopique chez les nourrissons à haut risque est faisable et acceptable.

À l'âge de 6 mois, 27/67 nourrissons (40 %) ont **développé un eczéma visible**, 12/36 (33 %) contre 15/31 (48 %) dans **les groupes adoucisseur d'eau et contrôle, respectivement, différence de -15 %**, la plupart des évaluations (≥ 96 %) restant en aveugle. De même, **une proportion plus faible de nourrissons dans le groupe adoucisseur d'eau présentait à 6 mois un eczéma déclaré** par les parents et diagnostiqué par un médecin par rapport au groupe témoin, 6/17 (35%) contre 9/19 (47%), différence de -12%.

Articles cités :

- Jabbar-Lopez et al. 2021 The effect of water hardness on atopic eczema, skin barrier function: a systematic review, meta-analysis.
- Jabbar-Lopez Z al. 2019, Protocol for an outcome assessor-blinded pilot randomised controlled trial of an ion-exchange water softener for the prevention of atopic eczema in neonates, with an embedded mechanistic study: the softened water for eczema prevention (SOFTER) trial
- Danby et al. 2018 The effect of water hardness on surfactant deposition after washing and subsequent skin irritation in atopic dermatitis patients and healthy control subjects.
- Engebretsen et al., 2016 Prevalence of atopic dermatitis in infants by domestic water hardness and season of birth: cohort study
- Perkin et al., 2016 Association between domestic water hardness, chlorine, and atopic dermatitis risk in early life: A population-based cross-sectional study
- Font-Ribera et al. 2015 Water hardness and eczema at 1 and 4 y of age in the INMA birth cohort.
- Thomas et al., 2011 A Randomised Controlled Trial of Ion-Exchange Water Softeners for the Treatment of Eczema in Children
- Arnedo-Pena and Bellido-Blasco, 2007 Domestic water hardness and prevalence of atopic eczema in Castellon (Spain) schoolchildren
- Miyake et al., 2004 Ecological association of water hardness with prevalence of childhood atopic dermatitis in a Japanese urban area
- McNally et al., 1998 Atopic eczema and domestic water hardness

Auteur : Jabbar-Lopez et al.

Année : 2019

Titre : Longitudinal analysis of the effect of water hardness on atopic eczema: evidence for gene-environment interaction

Objectif : Plusieurs études ont mis en évidence une association entre la dureté de l'eau et l'eczéma atopique; toutefois, les données longitudinales sur les premières années de la vie sont rares. Il s'agit d'examiner si la dureté de l'eau est associée à un risque accru d'eczéma atopique et de dysfonctionnement de la barrière cutanée chez les nourrissons et d'évaluer la modification de l'effet par des variantes de perte de fonction de la filaggrine.

Résultats : Au total, 761 nourrissons (58%) ont développé un eczéma atopique à l'âge de 36 mois. **Il n'y a pas eu d'association globale entre l'exposition à une eau plus dure ($> 257 \text{ mg L}^{-1} \text{ CaCO}_3$) et l'exposition à une eau plus douce ($\leq 257 \text{ mg L}^{-1} \text{ CaCO}_3$).** Cependant, on a constaté une **incidence accrue de l'eczéma atopique chez les nourrissons présentant des mutations FLG et exposés à de l'eau dure**, ainsi que des **interactions**

statistiquement significatives entre l'eau dure et la filaggrine et le risque d'eczéma atopique et la perte d'eau transépidermique. Il existe des preuves d'une **interaction entre la dureté de l'eau et les mutations de la filaggrine dans le développement de l'eczéma atopique infantile.**

Articles cités :

- Danby et al. 2018 The effect of water hardness on surfactant deposition after washing and subsequent skin irritation in atopic dermatitis patients and healthy control subjects.
- Engebretsen et al., 2016 Prevalence of atopic dermatitis in infants by domestic water hardness and season of birth: cohort study
- Perkin et al., 2016 Association between domestic water hardness, chlorine, and atopic dermatitis risk in early life: A population-based cross-sectional study
- Font-Ribera et al. 2015 Water hardness and eczema at 1 and 4 y of age in the INMA birth cohort.
- Arnedo-Pena and Bellido-Blasco, 2007 Domestic water hardness and prevalence of atopic eczema in Castellon (Spain) schoolchildren
- Miyake et al., 2004 Ecological association of water hardness with prevalence of childhood atopic dermatitis in a Japanese urban area
- McNally et al., 1998 Atopic eczema and domestic water hardness

Auteur : Danby et al.

Année : 2018

Titre : The Effect of Water Hardness on Surfactant Deposition after Washing and Subsequent Skin Irritation in Atopic Dermatitis Patients and Healthy Control Subjects

Objectif : On ne sait toujours pas comment l'eau dure altère la barrière cutanée, et une meilleure compréhension des mécanismes sous-jacents facilitera la conception de futures études d'intervention visant à réduire l'incidence de la dermatite atopique en éliminant la dureté de l'eau.

L'objectif de cette étude était d'étudier ce mécanisme chez des personnes prédisposées ou non à l'altération de la barrière cutanée. Nous avons mené une étude cas-témoins pour étudier les effets du type d'eau sur les dépôts cutanés de surfactants après le lavage et évaluer ensuite les effets des dépôts sur la fonction de barrière cutanée et l'irritation de la peau chez des individus à la peau saine comparés à des patients atteints de la maladie d'Alzheimer avec ou sans mutations de perte de fonction du FLG.

Résultats : Les peaux lavées à l'eau dure présentaient des dépôts de lauryl sulfate de sodium **significativement plus importants** (2,8 fois plus important que lorsque de l'eau déionisée était utilisée pour le lavage). Le niveau de chlore dans l'eau n'a pas eu d'effet sur le dépôt de SLS. L'adoucissement de l'eau pour éliminer les ions calcium et magnésium a réduit de manière significative le niveau de dépôt de SLS. Le lavage avec de l'eau dure a été associé à une augmentation de la désorganisation/fluidité des lipides et de la dénaturation des protéines (par rapport à l'eau désionisée). La modification de la structure des lipides et des protéines est en corrélation significative avec le dépôt de SLS à la surface de la peau

Les dépôts de SLS ont augmenté la perte d'eau transépidermique et provoqué une irritation, en particulier chez les patients atteints de la maladie d'Alzheimer et porteurs de mutations FLG. **La réduction de la fonction de barrière cutanée était significativement plus importante pour les peaux lavées l'eau en comparaison de l'eau déminéralisée.** Aucun effet clair du chlore n'a été observé. L'adoucissement de l'eau par échange d'ions a atténué les effets négatifs de l'eau dure sur la fonction de barrière cutanée. **L'altération de la barrière cutanée résultant de l'interaction entre l'eau dure et les surfactants est un facteur contribuant au développement de la dermatite atopique.**

Une plus grande altération de la barrière cutanée après exposition aux agents tensioactifs contenus dans les produits de lavage, combinée aux niveaux élevés de calcium de l'eau dure et/ou aux niveaux élevés de chlore, est un mécanisme convaincant pour expliquer cette augmentation.

Les résultats de ce travail, ainsi que ceux d'études plus récentes sur les cohortes de naissance, suggèrent **qu'au lieu d'affecter la sévérité d'une dermatite atopique établie, l'eau dure est susceptible de jouer un rôle plus important dans le développement primaire de la dermatite atopique** au cours des premiers mois de la vie (Engebretsen et al., 2016 ; Perkin et al., 2016).

Articles cités :

- Engebretsen et al., 2016 Prevalence of atopic dermatitis in infants by domestic water hardness and season of birth: cohort study
- Perkin et al., 2016 Association between domestic water hardness, chlorine, and atopic dermatitis risk in early life: A population-based cross-sectional study
- Chaumont et al., 2012 Interactions between domestic water hardness, infant swimming and atopy in the development of childhood eczema
- Ewence et al., 2011 A review of skin irritation and tap water.
- Thomas et al., 2011 A Randomised Controlled Trial of Ion-Exchange Water Softeners for the Treatment of Eczema in Children
- Arnedo-Pena and Bellido-Blasco, 2007 Domestic water hardness and prevalence of atopic eczema in Castellon (Spain) schoolchildren
- Miyake et al., 2004 Ecological association of water hardness with prevalence of childhood atopic dermatitis in a Japanese urban area
- McNally et al., 1998 Atopic eczema and domestic water hardness

Auteur : Jabbar-Lopez et al.**Année :** 2017**Titre :** The role of domestic water hardness in the development of skin barrier dysfunction and atopic eczema: a systematic review of the literature

Objectif : Il a été rapporté que l'eau domestique dure aggrave l'eczéma atopique et peut potentiellement conduire à son développement au début de la vie. Nous avons procédé à une analyse systématique de la littérature sur ce sujet.

Résultats : Toutes ces études ont mis en évidence des **associations positives significatives entre des niveaux élevés de carbonate de calcium dans l'eau domestique et le risque d'eczéma atopique chez les enfants**. L'une de ces études a également suggéré que **l'augmentation du risque était plus forte chez les personnes porteuses d'une mutation du gène de la barrière cutanée de la filaggrine**. Toutefois, une cohorte de naissance espagnole de 1 638 participants n'a pas observé d'augmentation du risque d'EA en fonction de la dureté de l'eau au cours des quatre années de suivi. Deux études mécanistes chez l'homme ont montré qu'un **dépôt plus important de laurylsulfate de sodium, un détergent courant, entraînait un dysfonctionnement de la barrière cutanée chez les personnes exposées à de l'eau dure** par rapport à de l'eau plus douce. Enfin, un essai contrôlé randomisé comparant les adoucisseurs d'eau aux soins standard chez 336 enfants âgés de 6 mois à 6 ans souffrant d'eczéma modéré à sévère n'a **pas montré d'amélioration significative de la sévérité de l'eczéma avec l'eau adoucie**. La majorité des études d'observation chez l'homme ont révélé **une association positive entre le fait de vivre dans une région où l'eau est dure et l'eczéma atopique**. Cependant, une fois l'eczéma atopique établi, **l'utilisation d'un adoucisseur d'eau domestique n'améliore pas la gravité de la maladie**. Cela n'exclut pas le **rôle potentiellement important de la dureté de l'eau dans l'initiation de l'inflammation cutanée pendant la petite enfance**. Nous menons donc une étude d'intervention pour vérifier si l'installation d'un dispositif d'adoucissement de l'eau au début de la vie réduit le risque de rupture de la barrière cutanée et d'EA chez les enfants à haut risque.

Articles cités :

- Engebretsen et al., 2016 Prevalence of atopic dermatitis in infants by domestic water hardness and season of birth: cohort study
- Perkin et al., 2016 Association between domestic water hardness, chlorine, and atopic dermatitis risk in early life: A population-based cross-sectional study
- Font-Ribera et al. 2015 Water hardness and eczema at 1 and 4 y of age in the INMA birth cohort.
- Chaumont et al., 2012 Interactions between domestic water hardness, infant swimming and atopy in the development of childhood eczema
- Ewence et al., 2011 A review of skin irritation and tap water
- Thomas et al., 2011 A Randomised Controlled Trial of Ion-Exchange Water Softeners for the Treatment of Eczema in Children

- Arnedo-Pena and Bellido-Blasco, 2007 Domestic water hardness and prevalence of atopic eczema in Castellon (Spain) schoolchildren
- Miyake et al., 2004 Ecological association of water hardness with prevalence of childhood atopic dermatitis in a Japanese urban area
- McNally et al., 1998 Atopic eczema and domestic water hardness

- **Études de référence les plus récentes sur les impacts sur les cheveux**

Auteur : Luqman et al.

Année : 2018

Titre : To Evaluate and Compare Changes in Baseline Strength of Hairs after Treating them with Deionized Water and Hard Water and its Role in Hair Breakage

Objectif : Cette étude a été menée pour comparer les changements dans la résistance de base des cheveux après les avoir traités avec de l'eau dure et de l'eau déminéralisée.

Résultats : L'eau dure diminue la résistance des cheveux et augmente donc la casse.

Les valeurs moyennes de la résistance à la traction pour les poils des groupes contrôle, traités à l'eau déionisée et traités à l'eau dure étaient de 255,49, 254,84 et 234,16 avec un écart type de 57,55, 58,74 et 56,25, respectivement. Les résultats étaient significatifs dans le cas de l'eau dure par rapport à l'eau désionisée.

Articles cités :

- Luqman et al. 2016 Effect of topical application of hard water in weakening of hair in men.
- Srinivasan et al. 2013 Effects of hard water on hair.

Auteur : Lujain et al.

Année : 2017

Titre : Scanning electron microscopy study of hair shaft changes related to hardness of water

Objectif : La fragilité et la casse des cheveux est une plainte courante dans la zone géographique d'Arabie Saoudite. Cette région présente un niveau élevé de dureté de l'eau du robinet. Nous avons voulu étudier et comparer les différences structurales et le dépôt relatif de sels de calcium et de magnésium à la surface de la tige du cheveu en utilisant la microscopie électronique à balayage (MEB) entre des échantillons de tige de cheveu de volontaires normaux et sains traités avec de l'eau dure et de l'eau douce.

Résultats : L'eau dure peut-être associée à une augmentation des dépôts à la surface de la tige du cheveu, mais cela ne se traduit pas nécessairement par des changements structurels évidents à la surface, comme le montre le MEB.

Il n'y avait pas de différence statistiquement significative entre le groupe d'étude et le groupe de contrôle en ce qui concerne les changements de surface au MEB. En ce qui concerne le dépôt de calcium et de magnésium, il n'y avait pas de différence statistiquement significative dans le dépôt de calcium entre les échantillons de contrôle et d'étude. En revanche, le dépôt de magnésium a montré une différence significative entre les deux groupes, avec un niveau plus élevé dans les échantillons lavés à l'eau dure.

Articles cités :

- Srinivasan et al. 2016 Scanning electron microscopy of hair treated in hard water
- Luqman et al. 2016 Effect of topical application of hard water in weakening of hair in men.
- Srinivasan et al. 2013 Effects of hard water on hair.

Auteur : Luqman et al.

Année : 2016

Titre : Effect of topical application of hard water in weakening of hair in men

Objectif : On pense que l'eau dure joue un rôle clé dans l'affaiblissement des cheveux (et non dans leur chute) et dans leur cassure, en particulier lorsque l'on voyage. Dans notre communauté, ce sont généralement les hommes qui voyagent et qui se plaignent le plus de leurs problèmes capillaires, c'est pourquoi seuls les jeunes hommes ont été inclus dans cette étude.

Résultats : Les résultats ont montré que la résistance à la traction des cheveux était significativement réduite dans les cheveux traités à l'eau dure par rapport aux cheveux traités à l'eau déionisée.

Les écarts types (ET) pour les cheveux traités à l'eau dure et à l'eau distillée étaient respectivement de 62,05 et 58,13 et les valeurs moyennes étaient respectivement de 238,49 et 255,36.

Articles cités :

- Srinivasan et al. 2013 Effects of hard water on hair.

Auteur : Srinivasan et al.

Année : 2016

Titre : Scanning electron microscopy of hair treated in hard water

Objectif : La dureté de l'eau utilisée pour laver les cheveux peut les endommager. Une étude antérieure a montré que la dureté de l'eau n'affecte pas négativement la résistance à la traction et l'élasticité des cheveux. Cette étude a été conçue pour étudier les changements de surface de la tige du cheveu dus à l'utilisation d'eau dure, par rapport à l'utilisation d'eau douce, à l'aide d'un microscope électronique.

L'objectif de cette étude est d'observer les changements de surface dus à l'utilisation d'eau dure et de comparer l'épaisseur des cheveux entre les échantillons traités à l'eau dure et ceux traités à l'eau douce.

Résultats : Les cheveux lavés régulièrement à l'eau dure présentent un dépôt minéral plus important, entraînant une irrégularité et une discontinuité de la surface et une diminution de l'épaisseur. La surface des cheveux traités à l'eau dure a un aspect ébouriffé avec un dépôt minéral plus important et une épaisseur réduite par rapport à la surface des cheveux traités à l'eau distillée.

L'épaisseur moyenne des cheveux traités à l'eau dure et à l'eau distillée était respectivement de 72,78 et 78,14 µm. La teneur en CaCO₃ et en MgSO₄ des échantillons d'eau dure et d'eau distillée a été déterminée comme étant respectivement de 212,5 ppm de CaCO₃ et de 10 ppm de CaCO₃. Le dépôt moyen de calcium dans les cheveux traités à l'eau dure et à l'eau distillée a été déterminé à 0,804 % et 0,26 %, respectivement. Le dépôt moyen de magnésium dans les cheveux traités à l'eau dure et à l'eau distillée était respectivement de 0,34 % et de 0,078 %.

Articles cités :

- Srinivasan et al. 2013 Effects of hard water on hair.

Auteur : Srinivasan et al.

Année : 2013

Titre : Effects of hard water on hair

Objectif : La dureté de l'eau utilisée pour le lavage des cheveux peut fragiliser les cheveux. L'objectif de l'étude suivante est de comparer la résistance à la traction et l'élasticité des cheveux traités à l'eau dure et des cheveux traités à l'eau distillée.

Résultats : La dureté de l'eau n'interfère pas avec la résistance à la traction et l'élasticité des cheveux.

La moyenne de la résistance à la traction des cheveux traités dans de l'eau dure était de 105,28 et dans de l'eau distillée était de 103,66. Aucune signification statistique n'a été observée dans la résistance à la traction.

La moyenne de l'élasticité des cheveux traités à l'eau dure était de 37,06 et à l'eau distillée de 36,84. Aucune signification statistique n'a été observée dans l'élasticité.

Articles cités :

- -

In Extenso

Innovation Croissance