



# **BILAN ÉCONOMIQUE ET ENVIRONNEMENTAL RELATIF AU PROJET DE DÉCARBONATATION DU SYNDICAT DES EAUX D'ILE-DE-FRANCE**

**Rapport final d'actualisation critique**

**Avril 2025**

**I. Hadna, E. Leguay**

# TABLE DES MATIERES

<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>1</b>
1 CONTEXTE DE L'ÉTUDE .....	1
2 OBJECTIFS DE L'ÉTUDE .....	2
3 CHAMP DE L'ÉTUDE .....	2
<b>MÉTHODOLOGIE : LIMITES PASSÉES &amp; MODÉLISATION REVISITÉE .....</b>	<b>5</b>
1 STRUCTURE DE LA MÉTHODOLOGIE : EN ACCORD AVEC LES PRÉCÉDENTES ÉTUDES .....	5
2 LIMITES DES PRÉCÉDENTES ÉTUDES .....	6
3 MODÉLISATION AJUSTÉE : RÉPONSES AUX LIMITES, ... QUAND C'EST POSSIBLE .....	7
<b>La définition du cadre d'analyse et des scénarios .....</b>	<b>7</b>
La structure logique des impacts considérés .....	7
Analyser les résultats : par types d'usagers et par postes de consommation d'eau .....	8
Comment chaque vecteur alimente l'impact de chaque poste de consommation .....	12
Scénarios de dureté .....	13
<b>Le calcul des facteurs de corrélation et des impacts     intermédiaires. ....</b>	<b>14</b>

Calcul des facteurs de corrélation les appareils électroménagers hors chauffe-eau.....	14
Calcul des facteurs de corrélation pour le chauffe-eau.....	16
Régressions linéaires : équations et facteurs de corrélation.	18
Le calcul des impacts intermédiaires, hors impacts spécifiques .....	19
<b>Les données d’empreinte carbone et de prix, et le calcul des impacts finaux.....</b>	<b>20</b>
Moyennes pondérées et étude de marché pour des données d’impact plus réalistes.....	20
Calcul des impacts finaux à partir des impacts intermédiaires .....	23
Impacts de la consommation d’eau en bouteille .....	24
Impacts de l’adoucissement individuel .....	26
<b>Résultats globaux et par type de foyers : l’innovation des persona.....</b>	<b>28</b>

## **RÉSULTATS : DES IMPACTS POSITIFS IMPORTANTS**

.....**32**

1 EN BREF : DES GAINS IMPORTANTS POUR TOUTES LES CATÉGORIES D’IMPACT .....	32
<b>Les impacts finaux pour l’ensemble du territoire desservi par le SEDIF .....</b>	<b>32</b>
<b>D’où viennent ces impacts ? Répartition des impacts finaux par impact intermédiaire .....</b>	<b>34</b>
Analyse de la réduction des dépenses .....	34
Analyse de la réduction des émissions de GES.....	36
2 IMPACTS GLOBAUX PAR CATÉGORIE D’USAGERS ET PAR POSTE DE CONSOMMATION.....	38

Analyse des impacts globaux par catégorie d’usagers .....	38
Analyse des impacts globaux par poste de consommation .....	40
3 DÉTAIL DES IMPACTS INTERMÉDIAIRES ET SPÉCIFIQUES, POUR UN FOYER MOYEN et pour tout le territoire .....	43
Impacts intermédiaires .....	43
Consommation de produits d’entretien .....	43
Consommation énergétique.....	46
Durée de vie .....	49
Impacts spécifiques.....	50
Consommation d’eau en bouteille.....	50
Adoucissement individuel.....	53
4 DÉTAIL DES IMPACTS FINAUX PAR FOYER : DIFFÉRENCES SELON LE TYPE DE FOYER .....	55
Les 5 types de foyer.....	55
Réduction des dépenses.....	56
Comparaison des différents types de foyer.....	56
Détail pour un foyer moyen.....	58
Réduction des émissions de GES.....	59
Comparaison des différents types de foyer.....	59
Détail pour un foyer moyen.....	61
5 RENTABILITÉ DU PROJET ET COMPARAISON SURCOÛTS- BÉNÉFICES POUR LES USGERS.....	62
<b>CONCLUSION .....</b>	<b>63</b>
1 LES POINTS CLÉS EN 1 PAGE.....	63
2 SYNTHÈSE.....	64
Notre méthodologie.....	64
Nos résultats.....	65

3 PISTES D'AMÉLIORATION : RECOMMANDATIONS POUR DE FUTURES ÉTUDES .....	68
Une analyse complète du cycle de vie .....	68
Limites et évolutions du modèle actuel .....	69
Une collecte de données à intensifier .....	69
Une vision systémique et prospective .....	70
Conclusion .....	70

## **ANNEXES.....71**

A0. LIMITES DES ÉTUDES PRÉCÉDENTES .....	71
L'extrapolation des données pour les facteurs de corrélation : quelques erreurs de conversion .....	71
Les impacts environnementaux considérés : focus presque uniquement sur le carbone .....	73
Le calcul des impacts intermédiaires et finaux : quelques incohérences de raisonnement. ....	75
Impact lié à la consommation d'eau en bouteille .....	75
Impact lié à l'adoucissement individuel .....	78
La simplicité des hypothèses prises : complexifier un peu pour plus de réalisme .....	79
La transparence et la clarté du raisonnement adopté : pas toujours au rendez-vous. ....	80
La communication de résultats majoritairement globaux : comment permettre aux usagers de s'identifier ?.....	80
A1. STRUCTURE D'UNE FEUILLE DE CALCUL DU MODÈLE EXCEL – IMPACTS ENVIONNEMENTAUX.....	81
A2. STRUCTURE D'UNE FEUILLE DE CALCUL DU MODÈLE EXCEL – IMPACTS ÉCONOMIQUES.....	84
A3. GRAPHE PRÉSENTANT LES RÉSULTATS DE L'ARTICLE (Gombert-Courvoisier, et al., 2024).....	86

A4. CALCUL DE RÉPARTITION DU POSTE JARDIN/VÉHICULE SUR LES AUTRES POSTES .....	86
A5. RÉPARTITION DES VOLUMES PAR TYPES D'USAGERS ET POSTES DE CONSOMMATION, POUR LES DEUX CONFIGURATIONS .....	87
A6. DISTRIBUTION DES IMPACTS INTERMÉDIAIRES DANS LES POSTES DE CONSOMMATION .....	89
A7. DONNÉES INITIALES DE L'ÉTUDE DANOISE.....	90
A8. DONNÉES DE COUVERTURE ET DE FRÉQUENCES D'UTILISATION DES APPAREILS MÉNAGERS.....	91
A9. ÉQUATIONS UTILISÉES POUR LA CONVERSION DES DONNÉES DANOISES AUX DONNÉES FRANÇAISES .....	93
A10. DONNÉES INITIALES DE L'ÉTUDE WQRF .....	94
A11. LA CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE DU LAVE-LINGE .....	95
A12. REPRÉSENTATION GRAPHIQUE DES RÉGRESSIONS LINÉAIRES .....	96
A13. FORMULES DÉTAILLÉES DES IMPACTS INTERMÉDIAIRES ....	99
A14. DÉCOMPOSITION DES EMPREINTES CARBONE DU SAVON CORPOREL ET DES ADOUCISSEURS .....	101
A15. BENCHMARK DU COÛT À L'ACHAT.....	102
A16. DONNÉES D'EMPREINTE CARBONE.....	103
A17. DONNÉES DE PRIX .....	105
A18. FORMULES DÉTAILLÉES DES IMPACTS FINAUX.....	107
A19. CALCUL DES BESOINS DE CONSOMMABLES POUR ADOUCISSEURS EN FONCTION DE LA DURETÉ DE L'EAU.....	111
A20. LES PROFILS SOCIOLOGIQUES COMPATIBLES AVEC LES DIFFÉRENTS TYPES DE FOYERS .....	112
B0. COMPARAISON DES RÉSULTATS AVEC LES ÉTUDES PRÉCÉDENTES .....	114
Comparaison des valeurs absolues des résultats .....	114
Comparaison de la sensibilité des résultats .....	116
Comparaison des taux d'accroissement .....	117
B1. IMPACTS FINAUX PAR USINE, POUR UNE DURETÉ FINALE DE 10°f.....	119

B2. RÉSULTATS DES CATÉGORIE D'USAGERS .....	120
Réduction des dépenses.....	120
Réduction des émissions de GES.....	120
B3. RÉSULTATS DES POSTES DE CONSOMMATION.....	121
Réduction des dépenses.....	121
Alimentation.....	121
Hygiène personnelle .....	122
Sanitaire.....	122
Linge et Vaisselle .....	123
Réduction des émissions de GES.....	124
Alimentation.....	124
Hygiène personnelle .....	125
Sanitaire.....	125
Linge et Vaisselle .....	126
B4. SENSIBILITÉ DES RÉSULTATS A LA PART DES FOYERS POSSÉDANT UN ADOUCISSEUR INDIVIDUEL.....	127
C. Analyses des facteurs d'impact sanitaires .....	128
C0. Les indicateurs des impacts sanitaires .....	128
C1. Les impacts de l'eau sur la santé humaine .....	132
C2. Les impacts de l'eau sur la santé animale .....	133

<b>INDEX DES TABLEAUX.....</b>	<b>134</b>
--------------------------------	------------

<b>INDEX DES FIGURES .....</b>	<b>139</b>
--------------------------------	------------

<b>INDEX DES ÉQUATIONS .....</b>	<b>142</b>
----------------------------------	------------

<b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>144</b>
---------------------------	------------



# Mentions légales

La présente étude est une actualisation critique de l'étude réalisée en 2023<sup>1</sup> par *In Extenso Innovation Croissance*<sup>2</sup>, elle-même une actualisation de la première étude<sup>3</sup> réalisée par *Deloitte Développement Durable*<sup>4</sup> et *IRH Ingénieur Conseil*<sup>5</sup> en 2019. Cette étude a été réalisée par *ENSAE Junior Études*<sup>6</sup> à partir de données produites par le *Syndicat des Eaux d'Île-de-France*<sup>7</sup>, d'études et de données publiques, et des données des deux précédentes études. 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 mises en œuvre par EJE 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°2024042 : « mission d'actualisation du bilan économique et environnemental relatif au projet d'insertion d'unités membranaires sur le territoire du SEDIF ». À ce titre, EJE 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 EJE. 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 (Coralie Duplan-Giraud, Sandrine Meynier, Yannick Pétillon) ; EJE (Ilian Hadna, Emma Leguay), 2025, *Bilan économique et environnemental relatif au projet de décarbonation du Syndicat des Eaux d'Île-de-France*.

---

<sup>1</sup> SEDIF (Éric Requis, Coralie Duplan-Giraud, Yannick Pétillon) ; In Extenso Innovation Croissance (Mathilde Borie, Erwan Bourgeois, Camille Dutreux) ; Experte indépendante (Mariane Ighilariz), 2023. *Bilan économique et environnemental relatifs au projet de décarbonation du SEDIF*, 78 pages.

<sup>2</sup> In Extenso Innovation Croissance, ci-après nommé « In Extenso »

<sup>3</sup> SEDIF (Anne-Laure COLON) ; Deloitte Développement Durable (Sébastien SOLEILLE, Mary Ann KONG, Mariane PLANCHON, Alima KOITE) ; IRH Ingénieur Conseil (Thierry PICHARD), 2018. *Benchmark sur le traitement du calcaire dans le monde*. 54 pages.

<sup>4</sup> Deloitte Développement Durable, ci-après nommé « Deloitte »

<sup>5</sup> IRH Ingénieur Conseil, ci-après nommé « IRH »

<sup>6</sup> ENSAE Junior Études, ci-après nommé « EJE »

<sup>7</sup> Syndicat des Eaux d'Île-de-France, ci-après nommé « SEDIF »

*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.*

# INTRODUCTION

## 1 CONTEXTE DE L'ÉTUDE

Afin de répondre aux enjeux sanitaires et **attentes croissantes de ses usagers** concernant la qualité de l'eau distribuée, y compris sur le goût et l'odeur, mais aussi aux attentes de réduction de son impact environnemental et de transparence sur la facture d'eau, le SEDIF a engagé depuis 2015 une **réflexion prospective** sur l'évolution de ses filières de production d'eau potable. Au-delà de l'élimination des micropolluants et de la diminution de la présence de chlore dans le réseau, la **réduction de la dureté de l'eau** constituerait un axe d'action majeur pour permettre au SEDIF de satisfaire les exigences de ses usagers.

La **dureté de l'eau**, ou titre hydrométrique, mesure la concentration en calcium et en magnésium de l'eau. On la mesure généralement en degrés français (°f): 1°f équivaut à 10 mg de carbonate de calcium ( $\text{CaCO}_3$ ) par litre d'eau. Ainsi, plus une eau est dure, plus la concentration en calcium et en magnésium est élevée, allant d'une eau douce (7°f-15°f) à une eau très dure (30°f-40°f) en passant par une eau moyennement dure (15°-30°). Une eau dure est associée à de nombreux **désagréments que le SEDIF entend limiter** par la mise en place d'un traitement membranaire haute performance dans trois de ses usines : en termes de confort (mauvais goût de l'eau, vaisselle ternie, linge rêche et terne), d'efficacité des appareils (tuyauterie bouchée, appareils ménagers abîmés, chaudières et chauffages moins performants, consommation accrue de produits d'entretien) ou bien sanitaire (cheveux cassants et secs, peaux asséchées).

Si ces effets négatifs de l'eau dure sont cités par de très nombreux producteurs d'adoucisseurs et fournisseurs de solution d'adoucissement de l'eau, ils ont pourtant été assez peu étudiés scientifiquement, et leur véritable impact sur les consommateurs finaux est encore moins documenté. Au contraire, dans une démarche de transparence, le SEDIF souhaite **quantifier l'impact économique et environnemental de son projet de décarbonation sur ses usagers** à l'aide des études scientifiques disponibles, afin de permettre un débat public avisé et de garantir la réalisation d'un investissement créateur de valeur pour la société. Ainsi, **à la suite de deux premières études réalisées par des cabinets de conseil**, le SEDIF s'est tourné vers une association d'étudiants issus d'une école spécialisée dans le traitement de données, l'ENSAE, pour apporter un regard neuf, jeune, et compétent en modélisation, sur le projet.

## 2 OBJECTIFS DE L'ÉTUDE

Le SEDIF nous a confié la mission d'actualiser le bilan économique et environnemental de son projet de décarbonation, qu'In Extenso avait établi. Le présent rapport en est le principal livrable. L'objectif n'était cependant pas seulement de **mettre à jour toutes les données** utilisées dans le modèle de calcul, mais aussi d'**adopter un regard critique sur la modélisation** en elle-même et sur les hypothèses, et d'**approfondir la réflexion autour de la stratégie d'évaluation d'impact**. Si l'objectif n'était pas forcément de proposer une modélisation complètement différente et nouvelle, il était en revanche de proposer une modélisation ajustée et mieux justifiée. Enfin, dans le même état d'esprit que le SEDIF, nous nous sommes fixé l'exigence supplémentaire d'avoir une **transparence totale** sur notre démarche afin que tout un chacun puisse vérifier les données exposées et refaire pas à pas notre raisonnement.

## 3 CHAMP DE L'ÉTUDE

Cette étude cherche à quantifier les impacts environnementaux et socio-économiques attendus de l'installation d'une étape de filtration membranaire dans trois des usines du SEDIF, permettant la décarbonation de la quasi-totalité de l'eau fournie par le SEDIF (97%).

Les usines concernées par l'installation de cette nouvelle technologie sont les suivantes : l'usine de **Choisy-le-Roi**, l'usine de **Méry-sur-Oise** et l'usine de **Neuilly-sur-Marne**. Seule l'usine d'Arvigny, non-concernée par le projet, est hors-champ de notre étude. Le SEDIF nous a donné à étudier deux configurations :

- *la première correspond à la situation où le SEDIF ne desservirait que les communes adhérentes en 2024 (« **Configuration 1** »)*
- *et la seconde correspond à la situation actuelle où le SEDIF dessert non seulement les communes adhérentes en 2024 mais vend aussi en gros de l'eau à certaines communes qui la distribuent (« **Configuration 2** »)*

Dans la seconde configuration, ces usines alimentent en eau potable près de **4,8 millions d'usagers** avec un peu plus de **245 millions de m<sup>3</sup> d'eau** fournis en 2023 (cf. *Tableau 1*). Sur les territoires desservis, notre étude quantitative se concentre sur :

- *ce que les professionnels de l'analyse du cycle de vie (ACV) appellent la **phase d'usage** du produit étudié, et non sur la phase d'extraction des matières premières et de production ni sur la fin de vie*
- *les impacts sur les **particuliers** (habitant en habitat individuel), les **collectivités** et les **gestionnaires d'immeubles** (particuliers vivant en habitat collectif); et non sur les industriels et professionnels*
- *les impacts **environnementaux** et **économiques**; et moins sur les impacts sanitaires*

Tableau 1. Usagers et volumes des usines concernées par l'étude, Configuration 2

	<b>USAGERS DESSERVIS EN 2023</b>	<b>VOLUMES FOURNIS EN 2023 (m<sup>3</sup>)</b>	<b>PART DANS LA DISTRIBUTION DU SEDIF</b>
<b>Choisy-le-Roi</b>	1,8 millions	90,9 millions	37%
<b>Méry-sur-Oise</b>	1,1 millions	54,4 millions	22%
<b>Neuilly-sur-Marne</b>	1,9 millions	99,7 millions	41%
<b>TOTAL</b>	<b>4,8 millions</b>	<b>245,0 millions</b>	<b>100%</b>

D'après les données 2023 du SEDIF, les usagers desservis par les trois usines sont de **4 types** : collectivités (8%), gestionnaires d'immeuble (52%), particuliers (22%), professionnels et industriels (18%). Ainsi, exclure de notre périmètre d'étude les professionnels et industriels revient à mettre de côté environ 1/5<sup>ème</sup> des usagers, ce qui n'est pas négligeable. Cependant, le **manque crucial de données**, notamment quantitatives mais aussi qualitatives, sur les impacts de la dureté de l'eau pour les professionnels et industriels d'une part, et de l'autre **la proximité des effets de l'eau dure sur les collectivités, les gestionnaires d'immeubles et les particuliers** nous a conduit à limiter notre champ d'étude à ces derniers. Quant aux impacts sur la santé humaine, notamment capillaires et dermatologiques, il existe quelques études mais surtout qualitatives et difficilement généralisables, d'où notre choix.

Tableau 2. Volume consommé par type d'usagers et usine (m3), Configuration 2

	<b>COLLECTIVITÉS</b>	<b>GESTIONNAIRES D'IMMEUBLE</b>	<b>PARTICULIERS</b>	<b>TOTAL (M)</b>
<b>Choisy-le-Roi</b>	7,2 millions	47,3 millions	20,0 millions	<b>74,5</b>
<b>Méry-sur-Oise</b>	4,4 millions	28,2 millions	12,0 millions	<b>44,6</b>
<b>Neuilly-sur-Marne</b>	8,0 millions	51,9 millions	21,9 millions	<b>81,8</b>
<b>TOTAL</b>	<b>19,6 millions</b>	<b>127,4 millions</b>	<b>53,9 millions</b>	<b>200,9</b>

Figure 1. Répartition des volumes d'eau distribués par le SEDIF par usine, Configuration 2

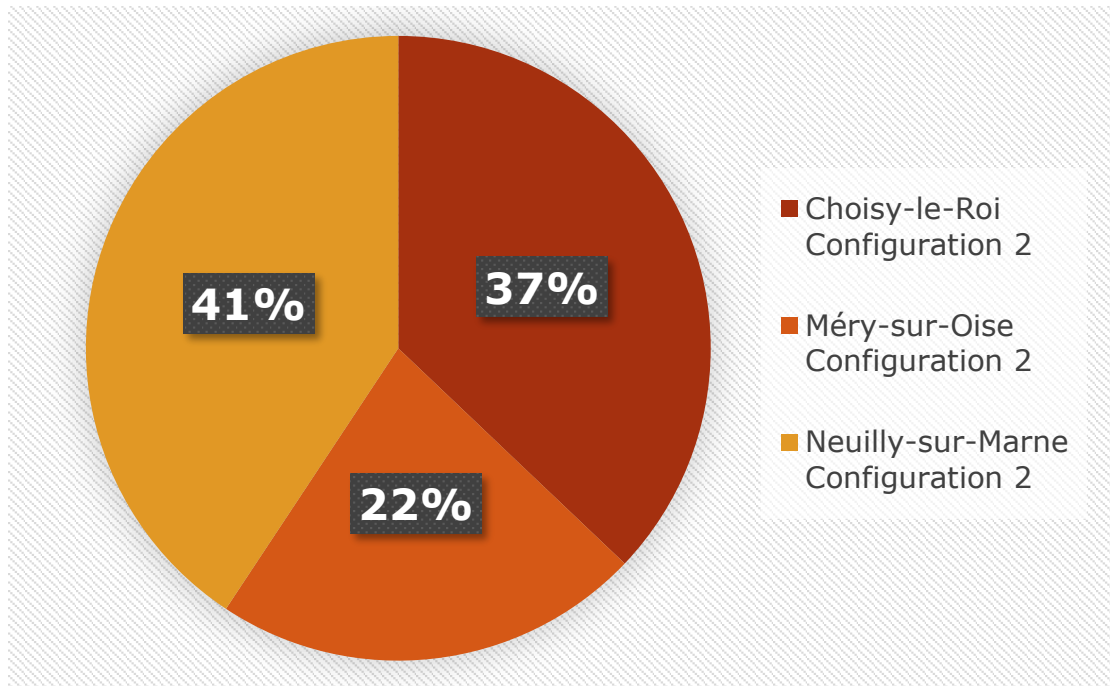
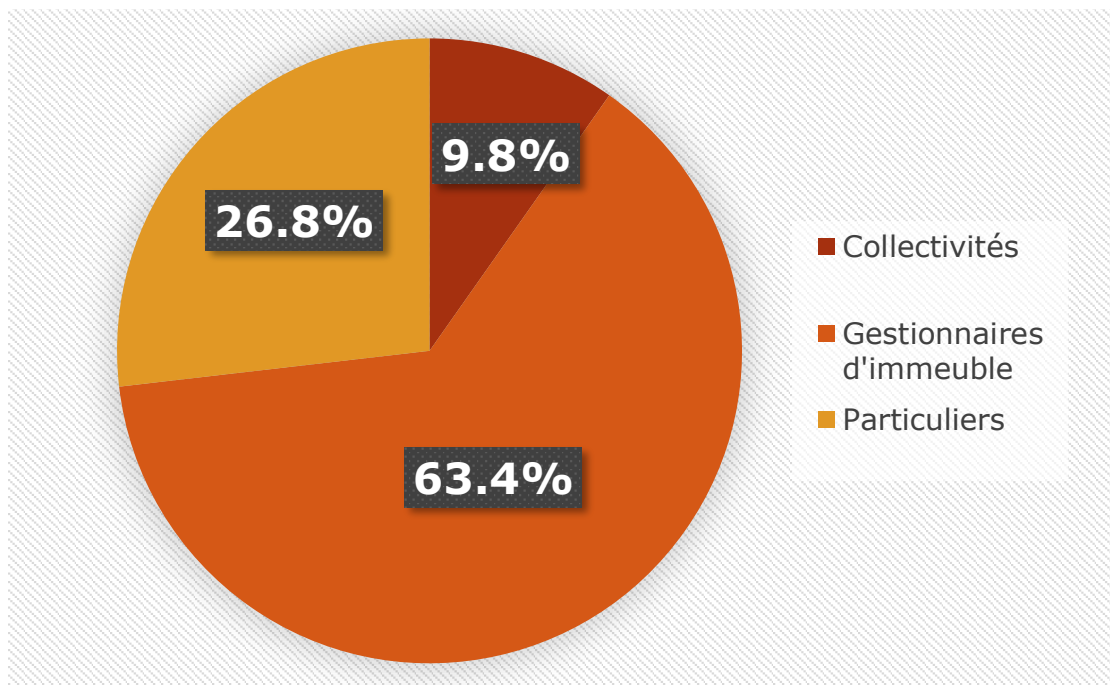


Figure 2. Répartition des volumes d'eau distribués par le SEDIF par types d'utilisateurs considérés dans notre étude, Configuration 2



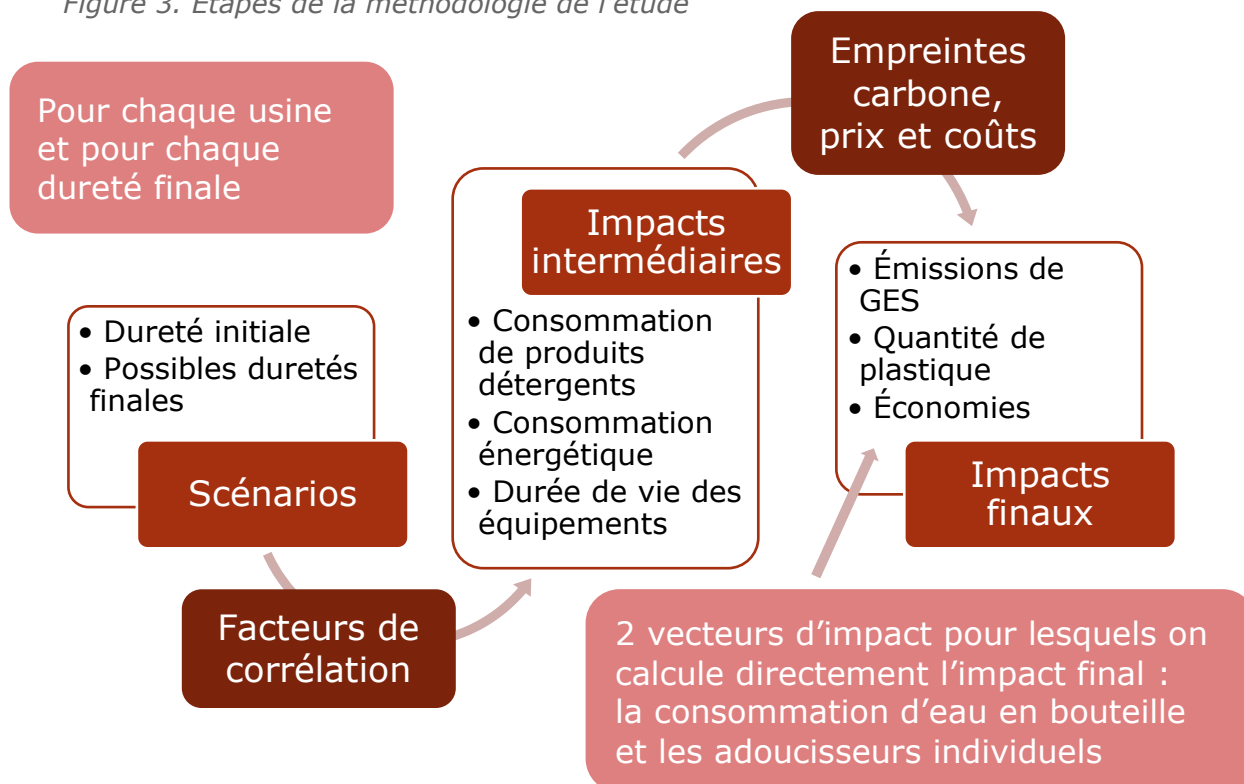
# MÉTHODOLOGIE : LIMITES PASSÉES & MODÉLISATION REVISITÉE

## 1 STRUCTURE DE LA MÉTHODOLOGIE : EN ACCORD AVEC LES PRÉCÉDENTES ÉTUDES

Les deux études précédentes ont adopté une méthodologie dont la logique peut difficilement être remise en cause : il s'agit d'appliquer un **raisonnement hypothético-déductif**, fondé sur les données du SEDIF, les données d'empreinte carbone corroborées par la communauté scientifique, les prix affichés sur le marché au moment de l'étude et les quelques articles scientifiques disponibles qui établissent une corrélation claire entre la dureté de l'eau et les différents impacts considérés. Nous adoptons donc une démarche très similaire.

1. Nous calculons d'abord des **facteurs de corrélation** entre dureté de l'eau et les impacts scientifiquement recensés, en utilisant des **régressions linéaires simples**.
2. Nous appliquons ensuite les équations de régression obtenues au **delta de dureté entre la situation initiale et la situation finale** : ce sont les **impacts intermédiaires**.
3. Nous traduisons enfin les deltas d'impact intermédiaire ainsi calculés en **impact final**, c'est-à-dire en **impact environnemental et économique**, en utilisant les données de prix et d'empreinte, etc.
4. Les impacts d'abord calculés **par foyer**, peuvent être **totalisés**, par usine et au niveau de toute la distribution d'eau réalisé par le SEDIF par **moyenne pondérée**.

Figure 3. Étapes de la méthodologie de l'étude



## 2 LIMITES DES PRÉCÉDENTES ÉTUDES

Nous tenons tout d'abord à souligner le **travail colossal** et **de très grande qualité** qui a été effectué par Deloitte et IRH d'abord, puis par In Extenso et qui sert aujourd'hui de fondements à notre étude. Nous avons cependant remarqué quelques pistes d'amélioration :

- **L'extrapolation de données de corrélation** entre la dureté de l'eau et la consommation de produit détergent, la durée de vie et la consommation énergétique à partir des études scientifiques n'est pas robuste à la variation de la fréquence d'utilisation des appareils.
- Le calcul des **impacts liés à la consommation d'eau en bouteille et à l'adoucissement individuel** peut suivre une logique qui nous paraît plus juste et mieux représentative de la situation.
- **Certaines hypothèses**, surtout sur les données d'empreintes carbone et de prix nous semblent trop simplificatrices, et pouvant être complexifiées pour plus de réalisme, sans pour autant rendre les calculs trop difficiles
- L'analyse peut être améliorée en **détaillant les résultats pour différents types de foyers** stylisés.

Pour plus de détails, nous vous invitons à lire l'annexe **A0. LIMITES DES ÉTUDES PRÉCÉDENTES**.



### 3 MODÉLISATION AJUSTÉE : RÉPONSES AUX LIMITES, ... QUAND C'EST POSSIBLE

#### La définition du cadre d'analyse et des scénarios

La première étape de toute **méthodologie** d'évaluation d'impact est de définir le cadre d'analyse dans lequel elle se place. Nous sommes :

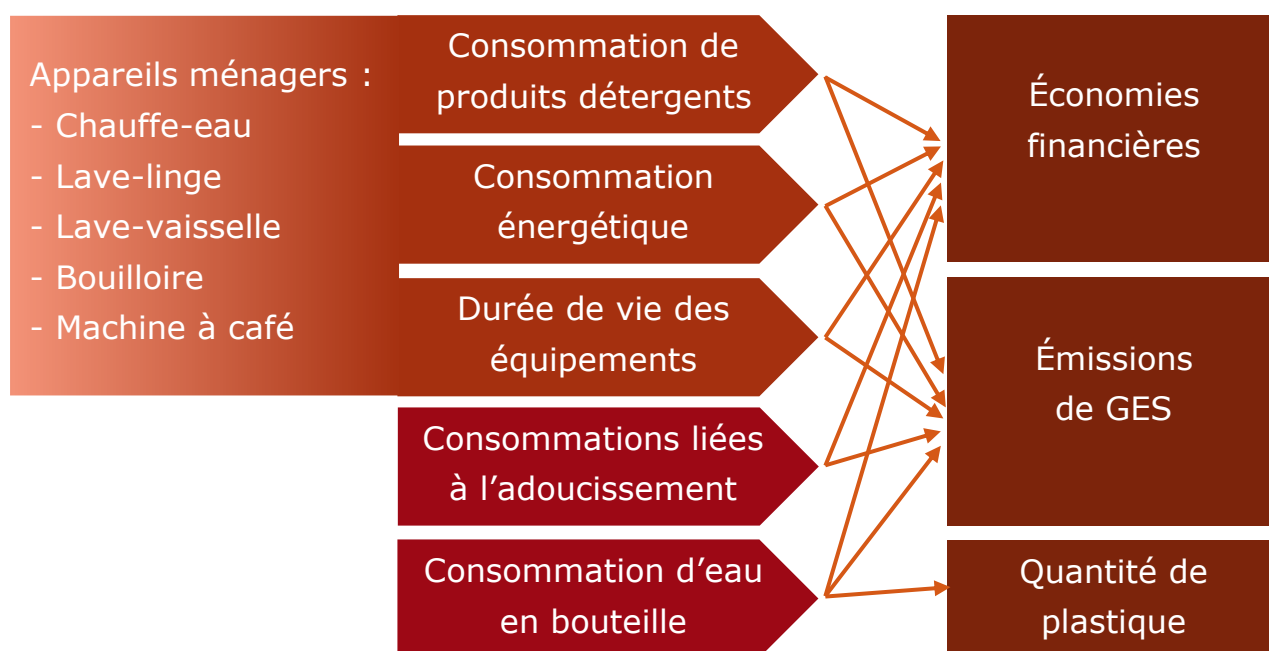
- dans le cadre d'une **analyse du cycle de vie**,
- focalisée sur la **phase d'usage** du produit, ici l'eau potable,
- focalisée aussi sur certains types d'usage : surtout **domestiques**
- et sur les impacts **environnementaux** et **économiques** ;
- l'analyse est réalisée pour l'eau de **3 usines**, dans **2 configurations** de desserte des usagers possibles.

Définir le cadre d'analyse signifie aussi définir **l'angle** sous lequel nous allons examiner les résultats : il s'agit de préciser les différents types d'impacts environnementaux et économiques que nous allons considérer et les angles à l'aune desquels nous allons les analyser.

#### La structure logique des impacts considérés

Les deux impacts environnementaux finaux considérés sont les **émissions de GES** (en tonnes de CO2 équivalent par an) et la **quantité de plastique** (en tonnes par an), et l'unique impact socio-économique calculé est **l'impact financier**. Comment les impacts intermédiaires alimentent-ils ces impacts finaux ?

Figure 4. Structure des impacts considérés



En premier lieu, pour **5 types d'appareil ménager**, nous avons des données qui permettent de mettre en lien la dureté de l'eau et 3 indicateurs : **la consommation de produits d'entretien** (en kilogrammes par an), **la consommation énergétique** (en kilo.Watt.heure par an) et la **durée de vie** (en années par unité). Chacun de ces indicateurs est alimenté par l'impact de chacun des 5 types d'appareil ménagers : **chauffe-eau, lave-linge, lave-vaisselle, bouilloire et machine à café**.

Par ailleurs, **deux autres indicateurs sont calculés directement**, sans passer par la décomposition en appareils ménagers : **les consommations de sels minéraux, résine et CO2 liées à l'adoucissement individuel** (en kilogrammes par an) et **la consommation d'eau en bouteille** (en litres par an).

Au total, la consommation de produits d'entretien, la consommation énergétique, la durée de vie, les consommations liées aux adoucisseurs et la consommation d'eau en bouteille forment les 5 impacts intermédiaires. **Ces 5 impacts intermédiaires alimentent à leur tour les impacts finaux, tous avec un même poids mais pas avec la même répartition.** La consommation de produits détergents, la consommation énergétique, la durée de vie des équipements et la consommation d'eau en bouteille sont traduits en économies financières et en réduction des émissions de GES. **Seule la réduction de la consommation d'eau en bouteille est aussi traduite en réduction de quantité de plastique.** Nous souhaitons attirer l'attention du lecteur sur le fait que les quantités de plastique liées à la consommation de produits détergents ne sont pas prises en compte dans ce modèle car elles étaient négligeables par rapport à l'impact environnemental des produits en eux-mêmes. Le lecteur pourra trouver en annexe le détail de la structure d'une feuille de calcul du modèle Excel (*A1. STRUCTURE D'UNE FEUILLE DE CALCUL DU MODÈLE EXCEL – IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX* et *A2. STRUCTURE D'UNE FEUILLE DE CALCUL DU MODÈLE EXCEL – IMPACTS ÉCONOMIQUES*).

### ***Analyser les résultats : par types d'utilisateurs et par postes de consommation d'eau***

Une fois définie la structure des impacts à prendre en compte, nous nous sommes demandé : **à l'aune de quels facteurs pouvons-nous analyser les résultats ?** Les données initiales fournies par le SEDIF indiquent un premier angle d'analyse : **la répartition par type d'utilisateurs**. Lorsque l'on pense à la consommation d'eau, on pense aussi intuitivement aux **postes de consommation d'eau** : à quoi sert cette eau que nous consommons ? Cet angle nous est apparu comme étant une seconde perspective très pertinente pour l'analyse des résultats.

Les données présentent **4 types d'utilisateurs** :

- les **collectivités** (personnes morales présentes sur le territoire d'Île-de-France en tant qu'autorités concédantes et adhérentes au SEDIF)
- les **gestionnaires d'immeubles** (personnes morales gérant des surfaces à usage d'habitation ou professionnel (bailleurs sociaux publics ou privés, syndicats de copropriété, property management)
- les **particuliers** (personnes physiques contractant directement avec le SEDIF)
- les **professionnels et industriels** (personnes morales publiques ou privées présentes contractant directement avec le SEDIF)

Nous nous concentrons uniquement sur les trois premiers qui représentent **plus de 80% de l'eau distribuée** par le SEDIF (cf. les chiffres donnés au dernier paragraphe de la partie *CHAMP DE L'ÉTUDE de l'Introduction*). Nous avons effectué ce choix à cause du **manque de donnée** concernant les professionnels et les industriels mais aussi parce que les **trois premières catégories d'utilisateurs ont des usages de l'eau très proches : les usages domestiques**. Cela permet ainsi d'avoir une analyse cohérente et de pouvoir comparer les différents postes de consommation entre les différents types d'utilisateurs.

A propos du **second angle**, d'après l'enquête nationale sur les Français et l'eau, réalisée par le CIEAU en 2017 (CIEAU, 2017), les **7 postes de consommation** habituellement considérés sont les suivants :

- **alimentation** : comprend la boisson et la cuisine
- **hygiène corporelle** : douches et bains, lavages de main et dents
- **eau sanitaire** : utilisation des WC et pour le ménage
- **linge** : utilisation du lave-linge et linge lavé à la main
- **vaisselle** : utilisation du lave-vaisselle et vaisselle à la main
- **jardin/voiture** : arrosage et entretien des véhicules
- **autres/divers** : autres postes, dont entretien d'animaux

La répartition de la consommation de l'eau distribuée par le SEDIF par postes des études précédentes se fonde sur les données issues de Baromètre du CIEAU de 2017. Nous avons souhaité les **challenger**. Pour cela, nous nous appuyons sur un article publié en 2024 dans la revue en ligne des Sciences de l'Environnement, *Vertigo*, **sur la consommation domestique de l'eau** en Gironde (Gombert-Courvoisier, et al., 2024). Les données issues de cet article, plus récentes, **confirment les données du CIEAU, bien qu'elles présentent certains écarts significatifs** sur les postes hygiène personnelle, vaisselle, et linge. Cependant, comme cela est expliqué dans l'article, cet écart est surtout dû au terrain spécifique qu'est le département de la Gironde : il présente un urbanisme et un climat très différents de ceux de l'Île-de-France, ce qui favorise certains postes de consommation d'eau, comme l'arrosage, au détriment d'autres postes.

Tableau 3. Comparaison de la répartition des postes de consommation d'eau Baromètre CIEAU 2017 vs article Gombert-Courvoisier et al.

	<b>DONNÉES CIEAU 2017</b>	<b>DONNÉES GIRONDE 2024</b>
<b>Alimentation</b>	7%	3,0%
<b>Hygiène personnelle</b>	39%	51,4%
<b>Sanitaire</b>	20%	17,6%
<b>Linge</b>	12%	6,2%
<b>Vaisselle</b>	10%	3,0%
<b>Jardin/Voiture</b>	6%	13,9%
<b>Autres/Divers</b>	6%	4,8%

Les données de l'article Gombert-Courvoisier et al. nous indiquent que **les données du CIEAU sous-estiment sûrement un peu surtout le poste hygiène personnelle** ; le poste jardin étant à relativiser pour l'Île-de-France. Ceci est d'autant plus probable que lorsqu'on regarde les données de l'article pour les ménages habitant en appartement, le poste jardin/voiture disparaît presque totalement (0,9%) et le poste hygiène personnelle est encore plus prépondérant (61,4%) (cf. en annexe le détail des résultats *A3. GRAPHE PRÉSENTANT LES RÉSULTATS DE L'ARTICLE (Gombert-Courvoisier, et al., 2024)*). Cependant, dans le choix difficile entre des données récentes mais peu appropriées géographiquement et **des données plus anciennes mais plus juste géographiquement**, nous choisissons la deuxième alternative car les comportements de consommation de l'eau n'ont pas pu évoluer drastiquement depuis la dernière étude. Nous gardons cette analyse en tête pour l'interprétation des résultats.

Ensuite, **nous ne considérons que 5 des 7 postes de consommation d'eau, en excluant le poste « jardin/voiture » et le poste « Autres »**, à la fois par cohérence avec les études précédentes (pour le poste « jardin/voiture ») et parce que le poste « autres » correspond surtout aux fuites, poste sur lequel le projet du SEDIF n'aura pas d'impact. A la différence des précédentes études, **nous répartissons ces 12% non pris en compte sur les postes restants** proportionnellement à la valeur originelle de chaque poste : le poste linge représentant une plus grande part du total que le poste vaisselle, il récupèrera une plus grande part des 12% que le poste vaisselle. Les détails

sont en annexe : **A4. CALCUL DE RÉPARTITION DU POSTE JARDIN/VÉHICULE SUR LES AUTRES POSTES.**

Nous utilisons cette distribution des postes de consommation d'eau **pour répartir les volumes associés aux gestionnaires d'immeubles et aux particuliers.** En effet, les gestionnaires d'immeubles, en tant que fournisseurs d'habitation ont vraiment les mêmes comportements de consommation que des particuliers. Ce n'est pas tout à fait le cas des collectivités. Ainsi, **pour les collectivités**, nous faisons une hypothèse très simple – voire simplificatrice – d'**équi-répartition** des trois postes de consommation qui les concernent : **alimentation, sanitaire et autres.**

Tableau 4. Répartition des volumes des différents types d'usagers par postes de consommation (la même est utilisée pour les deux configurations)

	COLLECTIVITÉS	GESTIONNAIRES D'IMMEUBLES	PARTICULIERS
<b>Alimentation</b>	50%	7,95%	7,95%
<b>Hygiène personnelle</b>		44,32%	44,32%
<b>Sanitaire</b>	50%	22,73%	22,73%
<b>Linge</b>		13,64%	13,64%
<b>Vaisselle</b>		11,36%	11,36%

Ainsi, la **répartition finale** des volumes d'eau produits par les usines, répartis par postes de consommation est la suivante. Le lecteur pourra trouver en annexe le détail des données par type d'usagers : **A5. RÉPARTITION DES VOLUMES PAR TYPES D'USAGERS ET POSTES DE CONSOMMATION, POUR LES DEUX CONFIGURATIONS.**

Tableau 5. Volumes consommés par postes et par usine, Configuration 2

	CHOISY-LE-ROI	MERY-SUR-OISE	NEUILLY-SUR-MARNE	TOTAL
<b>Alimentation</b>	9,0 millions	5,4 millions	9,8 millions	<b>24,2 millions</b>
<b>Hygiène personnelle</b>	29,8 millions	17,9 millions	32,7 millions	<b>80,4 millions</b>
<b>Sanitaire</b>	18,9 millions	11,3 millions	20,8 millions	<b>51,0 millions</b>
<b>Linge</b>	9,2 millions	5,4 millions	10,1 millions	<b>24,7 millions</b>
<b>Vaisselle</b>	7,6 millions	4,6 millions	8,4 millions	<b>20,6 millions</b>

**TOTAL**

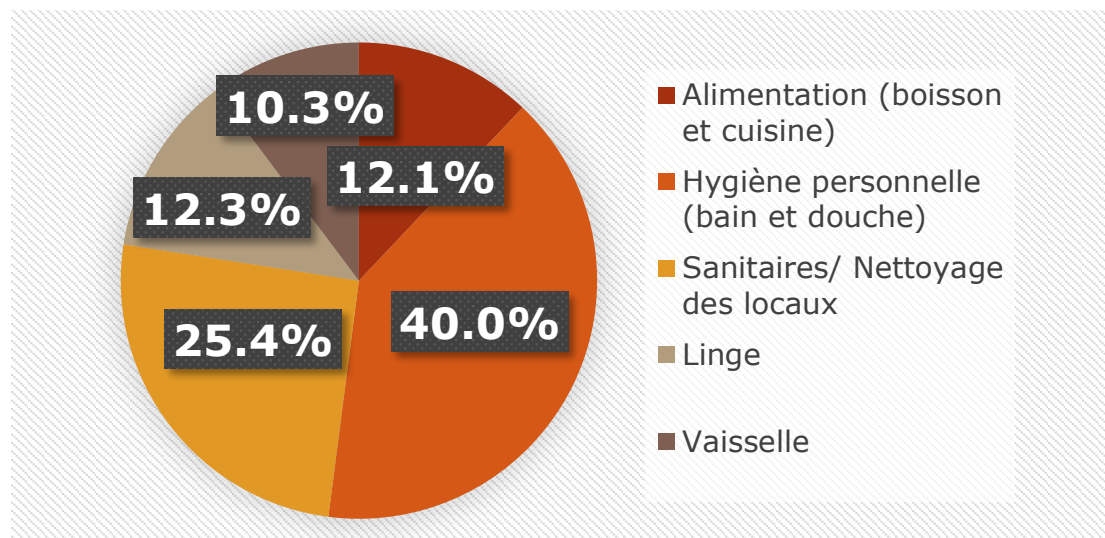
74,5 millions

44,6 millions

81,8 millions

200,9  
millions

Figure 5. Répartition des volumes distribués par poste de consommation d'eau



### **Comment chaque vecteur alimente l'impact de chaque poste de consommation**

L'idée d'un poste de consommation est de correspondre à un **certain usage** : derrière chaque poste de consommation, ce ne sont **pas les mêmes équipements** qui sont mobilisés. Pour refléter cela, **l'impact d'un appareil ménager est comptabilisé ou non dans l'impact associé à un poste de consommation en fonction de si l'appareil ménager est utilisé pour le poste de consommation** en question. Par exemple, pour le poste d'hygiène personnelle, nous utilisons le chauffe-eau et du savon corporel, ainsi les impacts intermédiaires de consommation de produits détergents lié au savon corporel et de consommation énergétique et de durée de vie du chauffe-eau seront comptabilisés dans les impacts associés à l'hygiène personnelle. Pour les impacts intermédiaires associés à la consommation d'eau en bouteille et à l'adoucissement individuel, qui ne sont pas associés directement à des appareils ménagers, nous les comptabilisons **intégralement dans l'alimentation** pour le premier et par équi-répartition entre l'alimentation, l'hygiène personnelle et le poste sanitaire pour le second.

Pour la consommation de détergents, la consommation énergétique et la durée de vie, **il y a 5 impacts (un par appareil ménager) à répartir entre les 5 postes de consommation**. Pour la consommation d'eau en bouteille et pour l'adoucissement individuel, **il n'y a qu'un seul impact à répartir entre les différents postes de consommation**. Les différents postes de consommation peuvent recevoir tout ou une partie d'un impact intermédiaire, et ce de plusieurs impacts intermédiaires par appareil. **La**

**distribution des impacts intermédiaires dans les différents postes de consommation** est décrite dans la matrice suivante.

Tableau 6. Alimentation des postes de consommation par les impacts intermédiaires

	<b>Conso détergents</b>	<b>Conso énergét.</b>	<b>Durée de vie</b>	<b>Eau en bouteille</b>	<b>Adouciss. indiv.</b>
<b>Alimentation</b>	1 (0,5 bouilloire et 0,5 machine à café)	2 (1 bouilloire et 1 machine à café)	2 (1 bouilloire et 1 machine à café)	1 (tout l'impact eau en bouteille)	0,33 (1/3 de l'impact de adouciss. indiv.)
<b>Hygiène personnelle</b>	1 (savon corporel)	1 (chauffe-eau)	1 (chauffe-eau)		0,33 (1/3 de l'impact de adouciss. indiv.)
<b>Sanitaire</b>	1 (0,5 bouilloire et 0,5 machine à café)				0,33 (1/3 de l'impact de adouciss. indiv.)
<b>Linge</b>	1 (lessive)	1 (lave-linge)	1 (lave-linge)		
<b>Vaisselle</b>	1 (produit vaisselle)	1 (lave-vaisselle)	1 (lave-vaisselle)		
<b>TOTAL</b>	5	5	5	1	1

Plus de détails en annexe **A6. DISTRIBUTION DES IMPACTS INTERMÉDIAIRES DANS LES POSTES DE CONSOMMATION**

### Scénarios de dureté

Enfin, pour finaliser la description du cadre d'analyse, nous devons préciser **les différents possibles** que nous allons étudier. Le projet global d'amélioration de l'assainissement de l'eau du SEDIF lui permettrait **de réduire la dureté de l'eau à 10°f**, ce qui représente une réduction de la dureté de l'eau **d'environ 50%** sur toutes les usines (un peu moins pour Méry-sur-Oise, un peu plus pour Choisy-le-Roi et Neuilly-sur-Marne). Afin d'étudier **la sensibilité des résultats** à cet objectif de dureté, nous calculons les impacts aussi pour 8° et 12°f, ce qui nous donne **3 scénarios de dureté**.

Tableau 7. Duretés initiales et finales par usines

	<b>DURETÉ MOYENNE EN 2023</b>	<b>DURETÉ OBJECTIVE (°f)</b>	<b>RÉDUCTION DE LA DURETÉ (%)</b>
<b>Choisy-le-Roi</b>	23°f	8°f-12°f	65,2%-47,8%



<b>Méry-sur-Oise</b>	17°f	8°f-12°f	52,3%-29,4%
<b>Neuilly-sur-Marne</b>	27°f	8°f-12°f	70,3%-55,5%

## **Le calcul des facteurs de corrélation et des impacts intermédiaires.**

Maintenant que le cadre d'analyse et les choix structurels de modélisation et d'analyse ont été exposés et justifiés, nous aimerions présenter le **détail des calculs de la méthodologie** et en quoi ils tentent de répondre aux limites soulevées plutôt. Comme indiqué précédemment, la première étape de notre modélisation consiste à **calculer les facteurs de corrélation** entre la dureté de l'eau et la consommation de produits détergents, la consommation énergétique et la durée de vie **pour les 5 types d'équipements retenus**.

### ***Calcul des facteurs de corrélation les appareils électroménagers hors chauffe-eau***

La mesure du **lien effectif entre dureté de l'eau et les 3 impacts intermédiaires** précédemment cités se fonde en premier lieu sur les données de l'article danois (Godskesen, et al., 2012). Celui-ci présente **la durée de vie, la consommation de produits détergents et la consommation énergétique** pour **3 duretés** de l'eau différentes ; et ce pour 4 des équipements qui nous intéressent : **le lave-vaisselle, la machine à laver, la machine à café et la bouilloire**. Il faut **remanier ces données** pour plusieurs raisons. En premier lieu, la dureté de l'eau est donnée en concentration de carbonate de calcium ( $\text{CaCO}_3$ ) **en mg/L et en MJ** pour la consommation énergétique : on les voudrait **en degré français** (1°f équivaut à 10 mg/L de  $\text{CaCO}_3$ ) et **en kWh** respectivement. Ensuite, les données de consommation énergétique et de produits détergents sont **par personne par an** alors qu'on les aimerait **par foyer par an**. Enfin, de manière plus importante, les données danoises sont **représentatives d'une fréquence d'utilisation des appareils électroménagers par les Danois** en 2012 et considèrent qu'une personne a accès à un appareil.

Ainsi, outre les **conversions de la dureté de l'eau et de la consommation énergétique dans les unités souhaitées**, nous avons mis en place la méthode suivante pour aboutir à données représentatives pour un **ménage français moyen actuel**. Les valeurs de **consommation énergétique** et de **produits détergents** danoises ont été multipliées par :

- le **nombre moyen de personnes par foyer** en Île-de-France
- la **part des ménages français possédant l'appareil** en question



- le **rapport de l'utilisation française sur l'utilisation danoise** en vertu de ce qui a été dit dans (pour plus de détails : *L'extrapolation des données pour les facteurs de corrélation : quelques erreurs de conversion*)

Seules **les données de durée de vie restent inchangées** car nous faisons l'hypothèse que **la durée de vie des appareils ne dépend pas proportionnellement du nombre de personnes dans le foyer ni de la fréquence d'utilisation** et probablement encore moins de la couverture de l'appareil sur le territoire français. L'hypothèse est assez forte, mais elle paraît juste si on prend en compte le « proportionnellement » : il nous paraissait assez incongru de multiplier ou diviser les données danoises de durée de vie par 2 ou 2,5 qui sont des exemples de rapport de fréquence d'utilisation française sur celle danoise.

Tableau 8. Données danoises converties pour le calcul des facteurs de corrélation

DURETÉ DE L'EAU (°f)	14,5	25,4	36,2
<b>Lave-linge</b>			
Durée de vie (an)	15	12,5	10
Consommation énergétique (KWh/foyer/an)	699,71	731,52	763,33
Lessive (kg/foyer/an)	36,19	43,68	51,08
<b>Lave-vaisselle</b>			
Durée de vie (an)	15	12,5	10
Consommation énergétique (KWh/foyer/an)	234,78	234,78	234,78
Sels détergents (kg/foyer/an)	0	5,07	11,46
<b>Machine à café</b>			
Durée de vie (an)	12	10	8
Consommation énergétique (KWh/foyer/an)	76,45	80,12	83,18
Acide acétique (L/foyer/an)	0,88	1,54	2,20
<b>Bouilloire</b>			
Durée de vie (an)	12	10	8
Consommation énergétique (KWh/foyer/an)	52,85	54,93	57,43
Acide acétique (L/foyer/an)	0,59	1,05	1,49
<b>Savon corporel</b>			

<b>Anionic surfactants (kg/foyer/an)</b>	4,41	5,65	6,28
--	------	------	------

<b>Non-ionic surfactants (kg/foyer/an)</b>	1,09	1,32	1,58
--	------	------	------

Le lecteur peut trouver en annexe toutes les données nécessaires pour retrouver ces résultats : **A6. DISTRIBUTION DES IMPACTS INTERMÉDIAIRES DANS LES POSTES DE CONSOMMATION**

La somme des parts de chaque impact intermédiaire doit valoir 1 (pas forcément celle des parts que reçoivent les postes de consommation).

Tableau 45. Distribution des impacts intermédiaires dans les postes de consommation

<b>IMPACT INTERMÉDIAIRE</b>	<b>ALIMEN- TATION</b>	<b>HYGIÈNE PERSONNELLE</b>	<b>SANITAIRE</b>	<b>LINGE</b>	<b>VAISSELLE</b>
---------------------------------	---------------------------	--------------------------------	------------------	--------------	------------------

### Consommation de produits détergents

<b>Lessive</b>				1	
<b>Produit vaisselle</b>					1
<b>Savon corporel</b>		1			
<b>Détergent bouilloire</b>	0,5		0,5		
<b>Détergent machine à café</b>	0,5		0,5		

### Consommation énergétique

<b>Chauffe-eau</b>		1			
<b>Lave-linge</b>				1	
<b>Bouilloire</b>	1				
<b>Lave-vaisselle</b>					1
<b>Machine à café</b>	1				

### Durée de vie

<b>Chauffe-eau</b>		1			
<b>Lave-linge</b>				1	
<b>Bouilloire</b>	1				
<b>Lave-vaisselle</b>					1
<b>Machine à café</b>	1				

## Consommation d'eau en bouteille

Consommation d'eau  
en bouteille 1

## Adoucissement individuel

Adoucissement  
individuel 0,33 0,33 0,33

A7. DONNÉES INITIALES DE L'ÉTUDE DANOISE, A8. *DONNÉES DE COUVERTURE ET DE FRÉQUENCES D'UTILISATION DES APPAREILS MÉNAGERS*, et A9. *ÉQUATIONS UTILISÉES POUR LA CONVERSION DES DONNÉES DANOISES AUX DONNÉES FRANÇAISES*. Si certaines données peuvent paraître exagérées au lecteur, nous aimerions rappeler que derrière ces données, **l'hypothèse de linéarité** est utilisée dans l'étude danoise et **celle de proportionnalité** dans notre conversion, ce qui peut aboutir au fait que **les données pour les duretés de l'eau extrêmes (très faibles et très élevées) peuvent paraître surestimées ou sous-estimées**.

Ainsi, les nouveautés par rapport à l'étude d'In Extenso consistent à **exploiter correctement cette étude** mais aussi **à l'exploiter totalement**, notamment en utilisant les données de **consommation de produits détergents associés à la bouilloire et à la machine à café**, ce qu'In Extenso avait laissé de côté. Pour l'indicateur de consommation de produits détergents, **l'utilisation de savon corporel correspond à l'utilisation d'eau chaude sanitaire produite par le chauffe-eau** : nous retrouvons bien nos 5 appareils électroménagers pour cet indicateur.

### **Calcul des facteurs de corrélation pour le chauffe-eau**

L'appareil ménager essentiel à notre analyse et pourtant manquant de l'étude danoise est le **chauffe-eau**. De plus, l'étude danoise a fait l'hypothèse que **la consommation énergétique du lave-vaisselle reste inchangée avec la dureté de l'eau**, ce qui est une hypothèse vraiment forte que nous souhaitons ré-étudier. Afin de répondre à ces **deux problématiques de l'étude danoise**, nous avons examinés les différents éléments publics de l'étude réalisée entre 2011 et 2013 par la Water Quality Research Foundation sur les bénéfices de l'eau adoucie (WQRF, 2011). Pour la WQRF, Battelle a testé **l'efficacité de différents appareils électroménagers soumis à de l'eau adoucie et à de l'eau dure**. L'*Executive Summary*<sup>8</sup> de cette étude présente notamment les résultats sur **l'efficacité énergétique des chauffe-eaux**.

---

<sup>8</sup> Lien vers l'*Executive Summary* : [https://www.wqrf.org/uploads/8/3/5/5/83551838/2009\\_energysavings\\_executive\\_summary\\_final.pdf](https://www.wqrf.org/uploads/8/3/5/5/83551838/2009_energysavings_executive_summary_final.pdf)

La conclusion la plus intéressante de cette étude pour notre application est que **la dureté de l'eau n'a pas d'impact sur les chauffe-eaux instantanés** (i.e. sans réservoir) **ni sur les chauffe-eaux électriques** (qui fonctionnent avec une résistance électrique, par opposition aux chauffe-eaux à combustible, très majoritairement au gaz, qui brûlent le combustible pour chauffer l'eau).

Cependant, nous devons aussi **remanier ces données** pour notre usage. Les résultats de l'augmentation de la consommation énergétique du chauffe-eau, associée à la dureté de l'eau, sont donnés en **pourcentage par rapport à l'efficacité énergétique initiale** du chauffe-eau (cf. *A10. DONNÉES INITIALES DE L'ÉTUDE WQRF*). Pour avoir des données par foyer et utilisables pour une régression linéaire, il nous faut une consommation énergétique annuelle par personne, à laquelle on applique le nombre moyen de personnes par foyer et aussi le pourcentage d'augmentation donnée par l'étude WQRF. Cela donne la formule suivante :

Équation 1. Conversion de l'augmentation de la consommation énergétique de l'étude WQRF en consommation énergétique annuelle par foyer

$$\begin{aligned} \text{Conso éner}g &= \text{Conso éner}g \text{ annuelle par personne} \\ & * \text{nbr moyen de personnes par foyer} \\ & * (1 + \text{augmentation conso éner}g_{WQRF}) \end{aligned}$$

Nous utilisons la consommation énergétique annuelle par personne d'un chauffe-eau, calculée par ENGIE<sup>9</sup> : **800 kWh par personne par an** en moyenne. Les **résultats** sont les suivants :

Tableau 9. Données WQRF converties pour le calcul de facteurs de corrélation

DURETÉ DE L'EAU (°f)	8,6	17,2	25,8	34,4	43
<b>Chauffe-eau à gaz et à réservoir</b>					
Réduction de l'efficacité par rapport à celle initiale (%)	4,3	8,5	12,8	17	21,3
Consommation énergétique (KWh/foyer/an)	1816,0	1894,1	1970,4	2048,4	2124,7
Durée de vie avant détartrage nécessaire (an)	8,4	4,1	2,7	2	1,6
<b>Chauffe-eau électrique ou instantané</b>					
Réduction de l'efficacité par rapport à celle initiale (%)	0	0	0	0	0
Consommation énergétique (KWh/foyer/an)	1816,0	1816,0	1816,0	1816,0	1816,0

<sup>9</sup> <https://particuliers.engie.fr/depannages-services/conseils-equipements-chauffage/conseils-chaudiere/consommation-ballon-eau-chaude>

<b>Durée de vie avant détartrage nécessaire (an)</b>	0	0	0	0	0
--	---	---	---	---	---

N'ayant pas eu accès à l'étude Veolia citée par In Extenso, nous utilisons les données d'In Extenso pour la consommation énergétique du lave-linge (cf. *A11. LA CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE DU LAVE-LINGE*).

### Régressions linéaires : équations et facteurs de corrélation

L'objectif derrière ces conversions de données est d'avoir des données utilisables pour appliquer un **modèle de régression linéaire à une seule variable**, la dureté de de l'eau. Voici les équations de régression que nous obtenons, où D dénote la dureté de l'eau :

Équation 2. Équations de régression et facteurs de corrélation

INDICATEUR	ÉQUATION DE RÉGRESSION
<b>Consommation de produits détergents (kg/foyer/an)</b>	
<b>Savon corporel (Chauffe-eau)</b>	Qté savon corporel = <b>0,109</b> *D + 4,016
<b>Lessive</b>	Qté lessive = <b>0,686</b> *D + 26,256
<b>Produit vaisselle</b>	Qté pdt vaisselle = <b>0,528</b> *D - 7,67
<b>Détergent Bouilloire</b>	Qté détergent = <b>0,041</b> *D - 0,002
<b>Détergent Machine à café</b>	Qté détergent = <b>0,061</b> *D - 0,003
<b>Consommation énergétique (kWh/foyer/an)</b>	
<b>Chauffe-eau</b>	Conso énerg = <b>8,974</b> *D + 1816,389
<b>Lave-linge</b>	Conso énerg = <b>2,931</b> *D + 657,162
<b>Lave-vaisselle</b>	Conso énerg = <b>0,52</b> *D + 116,508
<b>Bouilloire</b>	Conso énerg = <b>0,211</b> *D + 49,722
<b>Machine à café</b>	Conso énerg = <b>0,31</b> *D + 72,055
<b>Durée de vie (années/unité)</b>	
<b>Chauffe-eau</b>	Durée vie = <b>-0,144</b> *D + 7,687
<b>Lave-linge</b>	Durée vie = <b>-0,230</b> *D + 18,345
<b>Lave-vaisselle</b>	Durée vie = <b>-0,230</b> *D + 18,345
<b>Bouilloire</b>	Durée vie = <b>-0,184</b> *D + 14,676
<b>Machine à café</b>	Durée vie = <b>-0,184</b> *D + 14,676

Dans un modèle de régression simple ( $Y = aX + b$ ), **le coefficient de régression**  $a$  (en gras dans le tableau), que nous appelons aussi facteur de corrélation, s'interprète comme suit : **un changement d'une unité de X aboutit à un changement de  $a$  unités de Y**. Pour la visualisation de ces relations, le lecteur peut se référer à l'annexe **A12. REPRÉSENTATION GRAPHIQUE DES RÉGRESSIONS LINÉAIRES**.

### **Le calcul des impacts intermédiaires, hors impacts spécifiques**

Ce **coefficient de régression** est **l'élément le plus important** pour nos calculs des 3 impacts intermédiaires précédemment cités. En effet, la différence entre la donnée avant décarbonatation et après décarbonatation revient à faire **la multiplication du delta de dureté de l'eau par ce coefficient de régression**, car les ordonnées à l'origine s'éliminent. Cela donne les formules suivantes :

*Équation 3. Formules de la réduction de la consommation de produits détergents, de la consommation énergétique ; et de l'augmentation de la durée de vie*

<b>CALCUL IMPACT INTERMÉDIAIRE</b>	
<b>Consommation de produits détergents</b>	coefficient de corrélation de l'utilisation du détergent * (dureté initiale - dureté finale)
<b>Consommation énergétique</b>	coefficient de corrélation de la consommation énergétique * (dureté initiale - dureté finale)
<b>Durée de vie</b>	coefficient de corrélation de la durée de vie * (dureté finale - dureté initiale) * couverture de l'équipement

Le tableau précédent donne **l'esprit général des formules**. Il y a dans certains cas, notamment pour le chauffe-eau, des facteurs multiplicatifs supplémentaires. Pour le détail précis de toutes les formules par appareil ménager, veuillez-vous référer à l'annexe : **A13. FORMULES DÉTAILLÉES DES IMPACTS INTERMÉDIAIRES**.

Dans le **cas du chauffe-eau**, étant donné que nous n'avons pas pris **en compte la couverture du chauffe-eau** dans le calcul du facteur de corrélation de sa consommation énergétique avec la dureté de l'eau, nous devons le prendre en compte dans l'impact intermédiaire. Ainsi, pour la formule associée au chauffe-eau, nous avons **la couverture du chauffe-eau à combustible comme facteur multiplicatif supplémentaire dans l'équation**, puisque les chauffe-eaux à réservoir et à gaz sont les seuls à subir un impact de la dureté de l'eau. Comme nous n'avons pas trouvé de

données sur la couverture des chauffe-eaux à réservoir versus instantanés en France, la solution que nous proposons est de **décomposer la couverture des chauffe-eaux en France en chauffe-eaux à combustible et chauffe-eaux électriques** en faisant donc l'hypothèse implicite que tous les chauffe-eaux à combustible sont des chauffe-eaux à réservoir et subissent la dureté de l'eau (cf. *A8. DONNÉES DE COUVERTURE ET DE FRÉQUENCES D'UTILISATION DES APPAREILS MÉNAGERS*).

Dans le calcul des **coefficients de corrélation pour les durées de vie** des appareils ménagers, **la couverture de ceux-ci sur le territoire français n'a pas non plus été prise en compte**. Nous ne la prenons pas encore en compte à cette étape de la méthodologie, car **la durée de vie n'a vraiment de sens que pour une unité d'appareil ménager** : nous calculons donc pour l'instant l'impact de la dureté de l'eau sur la durée de vie d'un appareil, **en nombre d'années par unité**. **La couverture des appareils ménagers sera prise en compte dans le calcul des impacts finaux générés par l'augmentation de la durée de vie**, comme si les impacts générés au niveau des foyers qui possèdent ces appareils étaient redistribués sur tout le territoire. **Cet ajustement n'est pas nécessaire pour les autres impacts finaux générés par la consommation de produits détergents et la consommation énergétique** parce que leur couverture est prise en compte depuis le calcul des facteurs de corrélation.

Ainsi, les nouveautés par rapport à l'étude d'In Extenso consistent aussi **à mieux utiliser l'étude WQRF** en exploitant la différence entre les chauffe-eaux à combustible et ceux électriques ; et **à clarifier le rôle de la couverture des appareils ménagers** dans le calcul d'impact.

## **Les données d'empreinte carbone et de prix, et le calcul des impacts finaux.**

### ***Moyennes pondérées et étude de marché pour des données d'impact plus réalistes***

Pour **plus de réalisme** et afin de répondre à la critique de simplicité de certaines hypothèses, que nous avons formulée à l'encontre des précédentes études, nous tentons de **prendre en compte différents modèles d'appareils ménagers et de consommables**, dans la mesure des données disponibles. Cela se voit surtout dans **le calcul des données d'empreinte carbone et de prix** que nous allons utiliser pour calculer les impacts finaux à partir des impacts intermédiaires, d'où l'intérêt de le mentionner dans cette partie de la méthodologie.

Nous utilisons les **typologies** suivantes :

- pour le **chauffe-eau** : le chauffe-eau à combustible et le chauffe-eau électrique
- pour la **machine à café** : la machine à café filtre, la machine à capsules et la machine expresso
- pour les **adoucisseurs** : les adoucisseurs à résines et à sels minéraux, et les adoucisseurs à CO<sub>2</sub>
- pour la **lessive** : lessive en poudre et lessive liquide
- pour le **savon corporel** : savon solide et savon liquide

La première méthode que nous utilisons est celle de la **moyenne pondérée**, notamment pour le calcul des empreintes carbone. Nous utilisons les **parts de marché** de sous-catégories de produit ou leurs **couvertures sur le territoire français** comme **poids** dans ces moyennes pondérées.

Prenons l'exemple de la **lessive** : nous aimerions obtenir **une seule donnée d'empreinte carbone** de la lessive pour l'appliquer à notre impact intermédiaire de réduction de la quantité de lessive consommée par un ménage moyen grâce à la réduction de la dureté de l'eau, calculée à l'étape précédente. **Nous connaissons les empreintes carbone associées à la lessive en poudre et la lessive liquide**, et **nous connaissons aussi les parts de marché associées aux ventes de ces deux types de lessive**. Ainsi, en appliquant la méthode de la moyenne des empreintes carbone, pondérée par ces parts de marché, on peut connaître **l'empreinte carbone d'une lessive utilisée en moyenne par un foyer français** : 0,845 kgCO<sub>2</sub>eq/kg. On voit bien qu'en choisissant uniquement l'impact de la lessive en poudre, on aurait surestimé la baisse des émissions de GES générée par la réduction de la consommation de produits détergents. Cependant, nous devons souligner que nous faisons ici **l'hypothèse implicite que les parts de marché des deux lessives sont représentatives des parts d'utilisation effective par les foyers de ces lessives**, or rien ne permet d'affirmer indubitablement (ou d'infirmer d'ailleurs) cela. **Cependant, il faut aussi reconnaître que pour des produits consommables comme la lessive, cette hypothèse n'est pas très forte** : les usagers achètent régulièrement de la lessive pour l'utiliser, non pas pour la garder sans l'utiliser.

Tableau 10. Décomposition de l'empreinte carbone de la lessive entre lessive en poudre et lessive liquide

	LESSIVE EN POUVRE	LESSIVE LIQUIDE
<b>Empreinte<sup>10</sup></b> (kgCO <sub>2</sub> éq/kg)	1,230	0,821

<sup>10</sup> Source : ADEME, Base Empreinte : <https://base-empreinte.ademe.fr/donnees/jeu-donnees>



<b>Ventes<sup>11</sup></b> (millions d'€)	88	1400
<b>Part de marché</b> (%)	5,91%	94,09%

Cf. A14. DÉCOMPOSITION DES EMPREINTES CARBONE DU SAVON CORPOREL ET DES ADOUCISSEURS

Nous utilisons aussi la méthode de la moyenne pondérée **pour des équipements**, comme par exemple pour l'empreinte carbone de fabrication et le prix de la machine à café. N'ayant pas de données de ventes pour ces différents types de machine à café, nous avons utilisé une **moyenne simple**, faisant donc l'hypothèse implicite qu'elles sont réparties à part égales sur le territoire français.

Tableau 11. Décomposition de l'empreinte carbone de fabrication et du prix d'une machine à café

	<b>Empreinte carbone de fabrication<sup>12</sup></b> (kgCO <sub>2</sub> eq/unité)	<b>Prix à l'achat</b> (€/unité)
<b>Machine à café filtre</b>	61,8	50
<b>Machine à café capsule</b>	71,5	130
<b>Machine à café expresso</b>	75,2	100
<b>Machine à café moyenne</b>	69,5	93

Les données de prix de cette moyenne pour les machines à café sont issues d'une **étude de marché** que nous avons **réalisée pour chacun des 5 grands types d'appareil ménagers et de leur sous-catégorie**. L'étude de marché ou **benchmark** est la **deuxième méthode** que nous avons utilisée pour améliorer la précision des valeurs de référence. Nous avons cherché à **reporter les prix pour différentes gammes de vente d'appareils ménagers**, et nous utilisons ensuite dans l'impact final détaillé ci-après les prix associés à une gamme moyenne, majorée par une dizaine à une centaine d'euros, justifiée par le niveau de revenu médian en Île-de-France qui laisse à penser que les usagers du SEDIF sont en moyenne des consommateurs un peu plus aisés que la moyenne française. Veuillez voir

<sup>11</sup> Source : Marché de la lessive 2022 Statista : <https://fr.statista.com/statistiques/1417964/chiffre-d-affaires-lessives-par-segment-france/>

<sup>12</sup> Les données de l'empreinte carbone des différents types de machine à café proviennent toutes de l'Outil ImpactCO<sub>2</sub> de l'ADEME : <https://www.impactco2.fr/outils/electromenager>

en annexe le détail de cette étude de marché sur le coût d'achat des appareils ménagers : *A15. BENCHMARK DU COÛT À L'ACHAT.*

### ***Calcul des impacts finaux à partir des impacts intermédiaires***

Toutes les données de prix et d'empreinte carbone nécessaire au calcul des impacts finaux se trouvent dans les deux annexes :

*A16. DONNÉES D'EMPREINTE CARBONE et A17. DONNÉES DE PRIX.*

Le calcul des impacts finaux à partir des impacts intermédiaires est extrêmement simple : il consiste à **multiplier l'impact intermédiaire par l'empreinte carbone associée au vecteur d'impact considéré, et ce pour toutes les sous-composantes de celui-ci**. Cela donne par exemple pour la réduction des dépenses associées à la consommation de produits détergents :

*Équation 4. Formule de calcul de l'impact financier de la réduction de la dureté de l'eau, associée à la consommation de produits détergents*

$$\begin{aligned} & \text{Économies financières par conso pdts détergents} \\ & = \text{réduction conso lessive} * \text{prix lessive} \\ & + \text{réduction conso pdt vaisselle} * \text{prix pdt vaisselle} \\ & + \text{réduction conso détergent bouill} * \text{prix détergent bouill} \\ & + \text{réduction conso détergent M\`a caf} * \text{prix détergent M\`a Caf} \\ & + \text{réduction conso savon} * \text{prix savon} \end{aligned}$$

Pour obtenir l'impact final total, à savoir la réduction des dépenses et la réduction des émissions de GES, il suffit donc de **sommer tous les impacts finaux calculés pour chaque impact intermédiaire** qui entre en compte dans son calcul, comme expliqué dans *La structure logique des impacts considérés*. Le détail des formules pour chaque impact intermédiaire et final se trouve en annexe : *A18. FORMULES DÉTAILLÉES DES IMPACTS FINAUX*.

La liste des impacts intermédiaires évoquée précédemment faisait état de **5 impacts intermédiaires** : pour pouvoir calculer ces impacts finaux totaux, il nous faut la contribution de chacun des vecteurs d'impact intermédiaire. Nous n'avons pas encore expliqué **les formules utilisées pour le calcul** de deux d'entre eux, **l'impact de la consommation d'eau en bouteille** et **l'impact de l'adoucissement individuel**. Nous proposons de le faire dans cette partie sur les impacts finaux, car ces impacts étant spécifiques et nécessitant un calcul plus complexe, **nous calculons directement leur contribution à la réduction des émissions de GES, à la réduction des dépenses des foyers**, et, pour la consommation d'eau en bouteille, à la réduction de la quantité de plastique produite.

## ***Impacts de la consommation d'eau en bouteille***

Afin de calculer **la réduction de la consommation d'eau en bouteille générée par la réduction de la dureté de l'eau**, nous avons besoin de la donnée de **la quantité d'eau en bouteille consommée actuellement par les usagers du SEDIF et d'un nombre de personnes ou foyers prêts à arrêter la consommation d'eau en bouteille** si la dureté de l'eau diminue. Pour la première donnée, nous faisons **l'hypothèse que la consommation d'eau en bouteille par les usagers du service d'eau du SEDIF est égale à celle de la moyenne française** : en moyenne un Français consomme **133L d'eau en bouteille par an**<sup>13</sup>.

Pour la seconde donnée nécessaire, nous nous fondons sur les données de **l'enquête nationale sur les Français et l'eau** réalisée par le Centre d'Information sur l'Eau en 2022 (CIEAU, 2022). Cette étude estime **la part des Français buvant de l'eau en bouteille tous les jours à 47%**. Nous avons cherché à vérifier cette donnée avec des données plus récentes encore : les données Statista<sup>14</sup> sur l'évolution de la consommation quotidienne d'eau en bouteille en France confirment largement la valeur du CIEAU. Le CIEAU expose ensuite trois raisons citées par les personnes interrogées pour ne pas boire de l'eau du robinet (cf. les limites des précédentes études, en annexe A0, la sous-partie *Impact lié à la consommation d'eau en bouteille*) :

- **57%** des personnes interrogées buvant de l'eau en bouteille tous les jours le font car **elles n'aiment pas le goût de l'eau du robinet**
- **52%** parce qu'**elles trouvent l'eau du robinet trop calcaire**
- **29%** parce qu'**elles n'ont pas confiance dans l'eau du robinet**

Comme expliqué dans l'annexe, nous ne pouvons **utiliser qu'une seule de ces données** pour calculer une part de personnes qui changeront potentiellement de comportement suite à la réduction de la dureté de l'eau **car les motifs ne sont pas mutuellement exclusifs**. Nous choisissons d'utiliser la raison évoquée par les personnes interrogées qui est **le plus en lien avec la dureté de l'eau**, à savoir « l'eau du robinet est trop calcaire ». En multipliant la part des personnes interrogées buvant de l'eau en bouteille tous les jours par celle des personnes au sein de cette première catégorie qui le font car ils trouvent l'eau trop calcaire, nous obtenons **la part des Français en général qui boivent de l'eau en bouteille tous les jours à cause de sa concentration en calcaire**, qui est donc de **24,4%**.

---

<sup>13</sup> CIEAU, donnée de 2019 : <https://chiffreкле.оieau.fr/1611>

<sup>14</sup> Statista, 2024 : <https://fr.statista.com/statistiques/1331490/evolution-consommation-quotidienne-eau-robinet-bouteille-france/>

Nous avons bien conscience que **considérer cette part comme étant celle des usagers du SEDIF qui arrêteront complètement de consommer de l'eau en bouteille après la décarbonatation de l'eau du robinet** est une **hypothèse très forte** : en effet, on peut douter qu'un quart des usagers du SEDIF changeront effectivement de comportement de consommation d'eau uniquement parce que la dureté de l'eau a été réduite. Cependant, **nous ne disposons pas de données plus précises**, et surtout, **le projet du SEDIF peut jouer le rôle d'un signal** qui déterminerait certaines personnes réfléchissant déjà à réduire leur consommation d'eau en bouteille, peut-être pour d'autres raisons supplémentaires à celle de sa concentration en calcaire, à passer effectivement à l'acte. Cette **hypothèse** est pour le coup **assez réaliste**, étant donné **la tendance actuelle à la réduction de la consommation d'eau en bouteille**, visible sur les données Statista<sup>15</sup>, notamment pour des raisons de baisse de pouvoir d'achat et de prise de conscience écologique. Afin d'être cohérent avec cette idée du **projet du SEDIF comme signal qui déterminerait à passer à l'action**, nous modélisons l'arrêt de la consommation d'eau en bouteille comme une **variable binaire** : soit la personne ou le ménage arrête totalement de consommer de l'eau en bouteille, soit sa consommation d'eau en bouteille reste inchangée. Dans notre modélisation, **l'arrêt de la consommation d'eau en bouteille est donc décorrélé de la dureté effective de l'eau** : il est simplement déclenché par le fait que le SEDIF réduit la dureté de l'eau qu'il distribue, peu importe le montant effectif de la réduction de la dureté de l'eau. Au final, les formules sont les suivantes :

*Équation 5. Impact de l'arrêt de la consommation d'eau en bouteille pour un foyer qui arrête effectivement complètement*

*Économies financières (ou d'émissions de GES ou de plastique)*  
 = *volume conso d'eau en bouteille avant décarbonatation pour 1 pers*  
 \* *nbr moyen de personnes par foyer*  
 \* *prix de l'eau en bouteille (ou émissions de GES ou qté de plastique)*

*Équation 6. Impact de l'arrêt de la consommation d'eau en bouteille pour un foyer moyen du territoire, après répartition équitable des bénéfices globaux*

*Économies financières (ou d'émissions de GES ou de plastique)*  
 = *( part des personnes prêtes à changer de comportement*  
 \* *nbr d'usagers desservis par l'usine*  
 \* *volume conso d'eau en bouteille avant décarbonatation pour 1 pers*  
 \* *prix de l'eau en bouteille (ou émissions de GES ou qté de plastique) )*  
 \* *1 /nbr de foyers sur le territoire desservi par l'usine*

<sup>15</sup> La part des Français buvant de l'eau en bouteille tous les jours est en baisse constante de 1 à 2 points de pourcentage par an depuis 2017.

## Impacts de l'adoucissement individuel

Tout comme pour les impacts liés à l'arrêt de la consommation d'eau en bouteille, nous **calculons directement les impacts finaux générés par l'arrêt de l'adoucissement individuel**. Pour cela, nous utilisons les données de prix et d'empreintes carbone de la résine, des sels minéraux, du gaz carbonique pour adoucisseur, de l'eau et de l'électricité, que vous pouvez retrouver dans les annexes *A16. DONNÉES D'EMPREINTE CARBONE* et *A17. DONNÉES DE PRIX* et nous calculons d'abord **les impacts liés à un an d'utilisation** pour les deux types d'adoucisseur, à sels minéraux et résine d'une part et à gaz carbonique de l'autre. Le détail des calculs des besoins en sels minéraux, résine et gaz carbonique en fonction du volume d'eau à adoucir et du delta de réduction de la dureté se trouve en annexe : *A19. CALCUL DES BESOINS DE CONSOMMABLES POUR ADOUCISSEURS EN FONCTION DE LA DURETÉ DE L'EAU*. On peut remplacer les coûts et prix dans l'équation suivante par des émissions de GES et empreintes carbone.

Équation 7. Formules des dépenses et émissions de GES associées à un an d'utilisation d'un adoucisseur en fonction de son type

- Adoucisseur à sels minéraux et résine

*Coût d'un an d'utilisation d'un adoucisseur à sels et résine*

$$\begin{aligned} &= \text{volume conso eau} * \text{besoins sels par m}^3 * \text{prix sels} \\ &+ \text{volume conso eau} * \text{besoins résine par m}^3 \text{ et par } 1^\circ\text{f} \\ &* \text{Delta de dureté de l'eau} * \text{prix résine} \\ &+ (\text{pertes en eau} + \text{conso eau rinçage}) * \text{prix eau} \\ &+ \text{conso élec} * \text{prix élec} \end{aligned}$$

- Adoucisseur à gaz carbonique

*Coût d'un an d'utilisation d'un adoucisseur à gaz carbonique*

$$\begin{aligned} &= \text{volume conso eau} * \text{qté CO}_2 \text{ par m}^3 * \text{prix CO}_2 \\ &+ (\text{pertes en eau} + \text{conso eau rinçage}) * \text{prix eau} \\ &+ \text{conso élec} * \text{prix élec} \end{aligned}$$

Une fois ce calcul effectué pour les deux types d'adoucisseurs, **le calcul de l'impact final**, que ce soit celui financier ou celui environnemental des émissions de GES, **est effectué à l'aide d'une moyenne des valeurs des deux types d'adoucisseurs, pondérée par les parts de marché de ceux-ci** que vous pouvez retrouver à l'annexe *A14. DÉCOMPOSITION DES EMPREINTES CARBONE DU SAVON CORPOREL ET DES ADOUCISSEURS*.

Équation 8. Impact de l'arrêt de l'adoucissement individuel pour un foyer qui arrête effectivement complètement

$$\begin{aligned} & \text{Économies financières liées à l'arrêt adoucissement indiv} \\ & = ( \text{part marché adoucisseur } CO_2 \\ & * \text{coût pour un an d'utilisation de l'adoucisseur } CO_2 ) \\ & + ( \text{part marché adoucisseur à sels et résine} \\ & * \text{coût pour un an d'utilisation de l'adoucisseur à sels et résine} ) \end{aligned}$$

Veillez noter que **seul le coût d'utilisation d'un adoucisseur à sels et résine dépend de la dureté de l'eau** car nous n'avons pas trouvé de preuves scientifiques ni de données sur la corrélation entre la consommation de gaz carbonique. Les sources que nous avons trouvées indiquent seulement qu'un foyer moyen français possédant un adoucisseur à gaz carbonique utilise environ 0,1 kg de gaz carbonique par m3 d'eau à adoucir, sans préciser pour quel delta de dureté (cf. **A19. CALCUL DES BESOINS DE CONSOMMABLES POUR ADOUCISSEURS EN FONCTION DE LA DURETÉ DE L'EAU**). Ainsi, notre formule finale de l'impact de l'arrêt de l'adoucissement individuel a **une part fixe** quel que soit le delta de dureté, correspondant **à l'adoucisseur à CO2**, et **une part variable**, correspondant **à l'adoucisseur à sels minéraux et résine**. En effet, il faut quand même prendre en compte l'arrêt de l'utilisation des adoucisseurs à gaz carbonique bien que nous n'ayons pas réussi à mettre en lien leur consommation de gaz carbonique et la dureté de l'eau dans une formule, car avec la réduction de la dureté de l'eau réalisée par le projet du SEDIF, ces foyers pourront arrêter de le faire eux-mêmes. On peut aussi voir l'arrêt de l'adoucissement individuel par les foyers possédant un adoucisseur à gaz carbonique comme un **effet de signal**, comme précédemment développé à propos de l'arrêt de la consommation d'eau en bouteille.

Enfin, afin de calculer l'impact pour un foyer moyen du territoire desservi par l'usine, nous faisons l'hypothèse que **tous les foyers possédant un adoucisseur individuel arrêtent effectivement de l'utiliser**. C'est une **hypothèse moyennement forte**, mais les données disponibles ne nous permettent pas de calculer une part de foyers qui changeraient leur comportement parmi ceux qui possèdent un adoucisseur. De plus, il est assez raisonnable de penser que la réduction conséquente de la dureté de l'eau distribuée par le SEDIF rendrait obsolète l'utilisation d'adoucisseurs individuels. Après équi-répartition, voici la formule :

Équation 9. Impact de l'arrêt de l'adoucissement pour un foyer moyen du territoire, après équi-répartition des bénéfices globaux

$$\begin{aligned} & \text{Économies financières (ou d'émissions de GES ou de plastique)} \\ & = ( \text{part des ménages possédant un adoucisseur} \\ & * \text{économies financières (ou d'émissions de GES)} ) \\ & * 1 / \text{le nbr de foyers desservis par l'usine} \end{aligned}$$

## Résultats globaux et par type de foyers : l'innovation des persona

Ainsi, outre la prise en compte de **la diversité des appareils ménagers et produits consommables**, notre méthodologie tente aussi de mieux rendre compte de **la complexité des impacts liés à la consommation d'eau en bouteille et à l'adoucissement individuel** ; et de mieux justifier les hypothèses nécessaires.

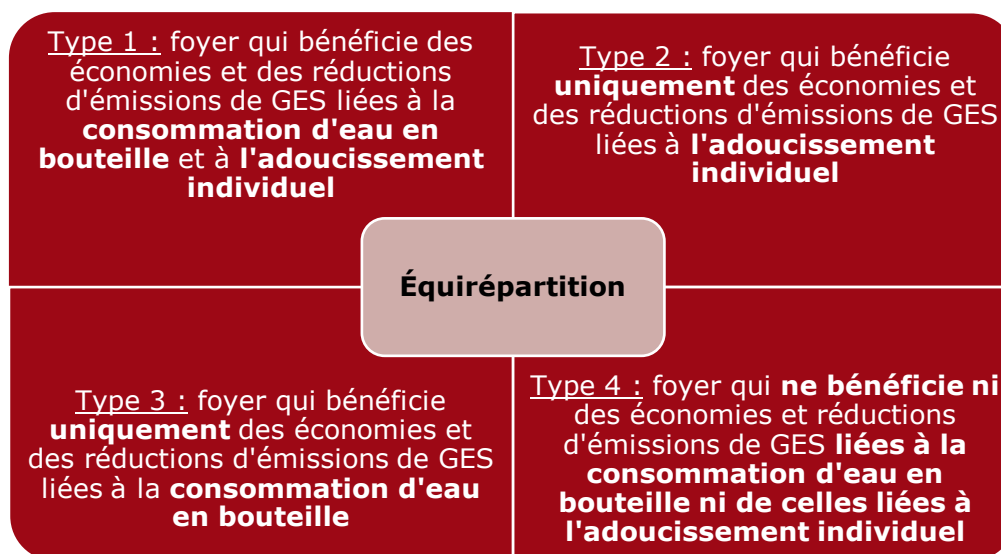
A ceci s'ajoute **un nouvel axe d'innovation**, une fois les impacts finaux calculés comme expliqué dans la section précédente : la présentation des résultats, avec des **résultats pour différents types de foyer**. En effet, le lecteur aura remarqué que, **grâce aux formules de calcul des deux vecteurs d'impact précédemment étudiés**, la consommation d'eau en bouteille et l'adoucissement individuel, on peut aisément **différencier deux types de foyers** pour chaque vecteur d'impact : les **foyers qui bénéficient des économies financières et réductions d'émissions de GES** et les **foyers qui n'en bénéficient pas**.

Dans le cas de la **consommation d'eau en bouteille**, le **premier type** correspondrait aux foyers qui consomment de l'eau en bouteille et qui arrêtent suite à la réduction de la dureté de l'eau, tandis que **le second type pourrait correspondre à au moins deux situations différentes** : des foyers qui consomment de l'eau en bouteille et qui continuent, même après la réduction de la dureté de l'eau, ou bien des foyers qui avaient déjà arrêté de consommer de l'eau en bouteille avant la mise en place du projet du SEDIF. De même, pour **l'adoucissement individuel**, le **premier type** correspond aux foyers qui possèdent un adoucisseur et qui arrêtent de l'utiliser, tandis que le **second type** peut correspondre à un foyer qui ne possède pas d'adoucisseur individuel ou bien à un foyer qui possède un adoucisseur individuel et qui continue de l'utiliser après la décarbonatation de l'eau – bien que cette situation soit **moins probable** que l'équivalente pour la consommation d'eau en bouteille.

Ainsi, **en croisant les deux possibilités pour ces deux vecteurs d'impact**, nous avons **quatre situations** dans lesquelles un foyer desservi par les usines du SEDIF peut se retrouver : bénéficiant des économies associées aux deux vecteurs d'impact, bénéficiant uniquement des économies associées à l'adoucissement individuel, bénéficiant uniquement des économies associées à la consommation d'eau en bouteille ou ne bénéficiant d'aucune de ces économies. Cela nous donne donc **4 types de foyer différents** pour lesquels il est aisé de calculer les impacts de réductions d'émissions de GES, de réduction de plastique produit et de réductions des dépenses, **en omettant ou non les impacts pour un foyer qui arrêtent la consommation d'eau en bouteille et l'adoucissement individuel ou non**.



Figure 6. Matrice des 5 types de foyers différents



Cependant, il existe aussi une **cinquième manière de calculer les impacts par foyer**, et c'est la manière qui nous sert de **référence** bien qu'elle soit **moins réaliste** que les 4 types de foyers précédemment décrits : **l'équitépartition**. Celle-ci est nommée d'après l'idée de la **répartition à parts égale des bénéfices générés par certains foyers parmi tous les foyers du territoire** desservi par une usine. Dans l'équitépartition, nous faisons **comme si** les bénéfices générés par les foyers qui consommaient de l'eau en bouteille et qui arrêtent totalement et par les foyers qui possèdent un adoucisseur individuel et arrêtent de l'utiliser **pouvaient être redistribués aux autres foyers du territoire**, de manière à ce que tous les foyers du territoire reçoivent au final la même part des bénéfices globaux. C'est ce que nous faisons dans le calcul des impacts associés aux deux vecteurs des deux sections précédentes en **calculant d'abord l'impact pour un foyer qui arrête** (la consommation d'eau en bouteille ou l'adoucissement individuel), **puis en multipliant par le nombre de foyers qui vont probablement adopter ce comportement** (la part de personnes prêtes à arrêter la consommation d'eau ou la part de foyers possédant un adoucisseur) pour obtenir l'impact global qui serait généré au niveau d'un territoire desservi par une usine, et **en divisant enfin par le nombre total de foyers sur le territoire desservi par cette usine**.

Cette hypothèse est évidemment **assez peu réaliste**, mais elle a un **intérêt heuristique** qui est de permettre plus aisément la comparaison entre les différentes usines : il faut comparer une donnée par impact final et par usine, plutôt que 4 données par impact et par usine, pour 3 usines et 3 impacts finaux. Par ailleurs, pour les impacts environnementaux notamment, elle a aussi un **beaucoup de sens**, car **c'est au final toute la collectivité qui bénéficie de la réduction des émissions de GES et de production de plastique**.

Ces 4 types différents de foyer peuvent correspondre à des **profils socio-économiques** différents que nous développons en annexe : A20. **LES PROFILS SOCIOLOGIQUES COMPATIBLES AVEC LES DIFFÉRENTS TYPES DE FOYERS.**

Ainsi, nous avons les résultats pour quatre différents types de foyer réalistes, et un résultat pour un foyer moyen, associé à chaque usine. A partir de ce dernier, nous pouvons calculer **les impacts globaux pour tous les foyers desservis par le SEDIF** et **la moyenne pondérée des impacts pour un foyer moyen du territoire global.**

*Équation 10. Calcul de l'impact total pour tout le territoire desservi par le SEDIF*

*Impact final total pour le territoire desservi par le SEDIF*  
= (nbr de foyers desservis Choisy le Roi  
\* impact pour un foyer moyen desservi par Choisy le Roi)  
+ (nbr de foyers desservis Méry sur Oise  
\* impact pour un foyer moyen desservi par Méry sur Oise)  
+ (nbr de foyers desservis Neuilly sur Marne  
\* impact pour un foyer moyen desservi par Neuilly sur Marne)

*Équation 11. Calcul de l'impact moyen pour un foyer moyen desservi par le SEDIF*

*Impact moyen pour un foyer moyen desservi par le SEDIF*  
= (part de Choisy le Roi dans la distribution du SEDIF  
\* impact pour un foyer moyen desservi par Choisy le Roi)  
+ (part de Méry sur Oise dans la distribution du SEDIF  
\* impact pour un foyer moyen desservi par Méry sur Oise)  
+ (part de Neuilly sur Marne dans la distribution du SEDIF  
\* impact pour un foyer moyen desservi par Neuilly sur Marne)

# RÉSULTATS : DES IMPACTS POSITIFS IMPORTANTES

Après avoir présenté en détail la méthodologie, nous aimerions maintenant présenter et analyser les **résultats** obtenus. Le projet d'installation d'un nouveau traitement membranaire par le SEDIF permettrait de réduire la dureté de l'eau jusqu'à 10°f pour toutes les usines. Nous présentons ici **la différence entre la situation avant l'investissement du SEDIF et la situation après, pour la dureté finale de 10°f** (l'impact correspond au delta). Afin de permettre au lecteur d'apprécier la sensibilité des résultats à la dureté finale réelle, nous présentons aussi les résultats pour la dureté de 8°f et 12°f. Par souci de simplicité, nous présentons les résultats pour la **première configuration**, c'est-à-dire uniquement pour les **communes adhérentes au SEDIF** (environ **4M d'usagers**). Pour la seconde configuration (4,8M d'usagers), les résultats **augmentent mécaniquement d'environ 20% par proportionnalité** (20% d'usagers en plus entre 4M et 4,8M).

## 1 EN BREF : DES GAINS IMPORTANTS POUR TOUTES LES CATÉGORIES D'IMPACT

### Les impacts finaux pour l'ensemble du territoire desservi par le SEDIF

Nous nous proposons d'abord d'analyser les résultats calculés pour **l'entière du territoire**, c'est-à-dire la **somme des impacts calculés pour** un foyer moyen desservi par **une usine** multipliés par le nombre de foyers moyens desservis par cette usine, comme expliqué à l'équation 15 de la partie *Résultats globaux et par type de foyers : l'innovation des persona*.

Tableau 12. Impacts finaux pour l'ensemble du territoire desservi par le SEDIF dans la Configuration 1 (4M d'usagers), pour les 3 scénarios de dureté

	Dureté finale 8°f	Dureté finale 10°f	Dureté finale 12°f
<b>Réduction des dépenses</b> (M€/an) <sup>16</sup>	470	436	403
<b>Réduction des émissions de GES</b> (ktCO <sub>2</sub> eq/an) <sup>17</sup>	141	130	119
<b>Réduction de la production de plastique</b> (t/an)	1 983	1 983	1 983

Les résultats sont intuitifs et cohérents avec les hypothèses préalablement faites et la logique globale de la modélisation : **plus la réduction de la dureté est forte, plus les impacts sont importants.**

En effet, les impacts calculés montrent que **plus l'eau est adoucie, plus les économies financières sont importantes**, passant de 402 M€ pour une dureté finale de 12°f à 469 M€ pour 8°f. De même, **plus la réduction de la dureté de l'eau est importante, plus les émissions de gaz à effet de serre diminuent**, passant de 141 ktCO<sub>2</sub>eq/an pour 8°f à 119 ktCO<sub>2</sub>eq/an pour 12°f. Tous ces effets s'expliquent par une plus faible consommation énergétique, une plus faible consommation de produits détergents polluants, une plus grande durée de vie des équipements et l'arrêt de la consommation d'eau en bouteille et de l'adoucissement individuel par certains foyers. Concernant les déchets plastiques, leur réduction reste constante à 1 983 t/an, car leur impact tel que nous l'avons modélisé est indépendant de la dureté de l'eau.

Pour illustrer ces résultats, voici des équivalences plus parlantes, à l'échelle du territoire pour la dureté finale de 10°f :

- **Dépenses évitées** : Avec 436 M€, on pourrait financer **la rénovation énergétique de plus de 40 000 logements chaque année** (en supposant un coût moyen de 10 000 € par logement)
- **Émissions de GES évitées** : Un arbre absorbe environ 25 kg de CO<sub>2</sub> par an, donc 130 ktCO<sub>2</sub>eq **équivalent au CO<sub>2</sub> absorbé par 5,2 millions d'arbres en une année.**
- **Plastique évité** : Une bouteille en plastique de 1,5 L pèse environ 30 g de plastique, ainsi 1983 t/an évitées signifient que **66 millions de bouteilles en plastique ne finiraient pas dans la nature chaque année**

<sup>16</sup> M€ signifie millions d'euros : 1 M€ = 10<sup>6</sup> € = 1 000 000 €

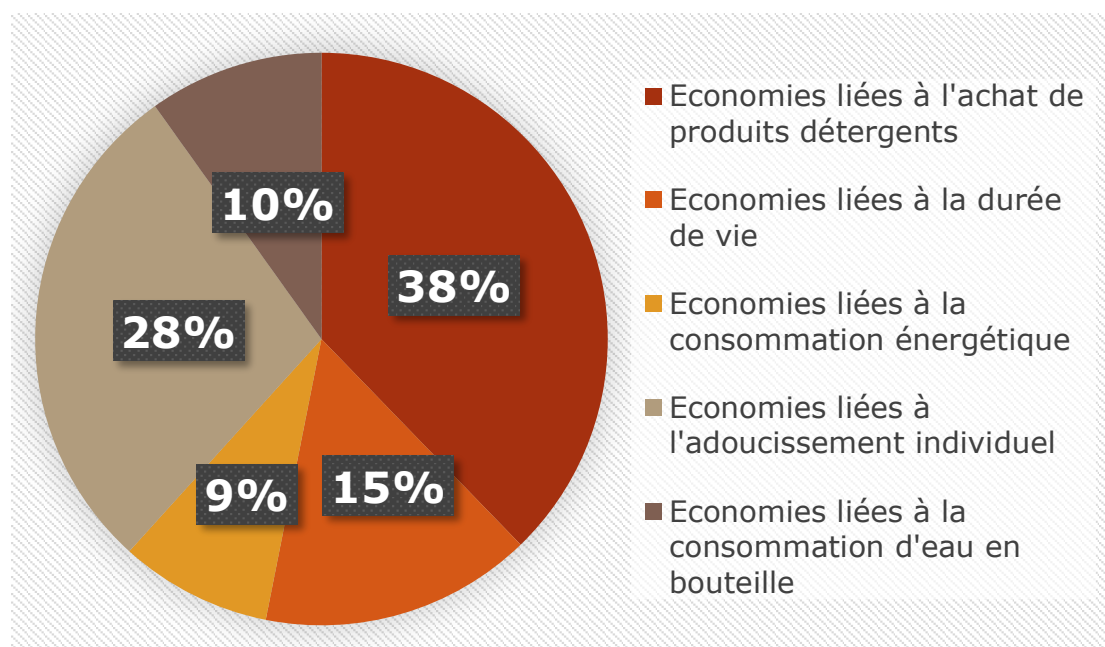
<sup>17</sup> Kt signifie kilo tonnes : 1 kt = 1000 t = 1 000 000 kg de CO<sub>2</sub> équivalent

## D'où viennent ces impacts ? Répartition des impacts finaux par impact intermédiaire

Toujours au niveau de la **somme des impacts** générés par chaque usine, pour la **première configuration** (uniquement les communes adhérentes au SEDIF, i.e. **environ 4M d'usagers**), il s'agit désormais d'entrer un peu plus dans les **détails**, en analysant la **répartition des impacts finaux par vecteur d'impact**.

### Analyse de la réduction des dépenses

Figure 7. Répartition de la réduction totale des dépenses pour tout le territoire desservi par le SEDIF, par impact intermédiaire, pour une dureté finale de 10°f



Au premier coup d'œil, on constate que **la part la plus importante d'économies** provient de la **réduction de la consommation de produits détergents**, ce qui traduit à quel point le calcaire peut nuire à l'efficacité des lessives, savons et autres agents nettoyants. Par ailleurs, **la réduction des coûts liés à l'adoucissement individuel occupe une place significative** : les ménages qui n'ont plus besoin d'installer ou d'entretenir des dispositifs anticalcaires chez eux réalisent ainsi une économie non négligeable. Enfin, **les autres postes** – durée de vie des équipements, énergie et consommation d'eau embouteillée – contribuent également, mais **dans une moindre mesure**, à la réduction globale des dépenses. Il est intéressant de noter que **la consommation énergétique n'arrive qu'en troisième place**, alors qu'on aurait pu penser qu'elle aurait eu une place prépondérante, surtout après l'épisode inflationniste post-pandémique, notamment soutenu par une hausse des prix de l'énergie.

Cette répartition s'explique en grande partie par **l'effet direct du calcaire sur l'efficacité des produits détergents et sur le fonctionnement des appareils électroménagers**. L'eau dure, riche en minéraux comme le calcium et le magnésium, **diminue le pouvoir nettoyant des détergents**, obligeant les usagers du SEDIF à consommer de grandes doses de lessive ou de savon pour obtenir un résultat satisfaisant avant la réduction de la dureté de l'eau. De plus, l'entartrage des équipements (machines à laver, chauffe-eau, lave-vaisselle) **accélère leur usure** et **accroît leur consommation énergétique**, car les résistances chauffantes doivent fournir davantage d'efforts pour chauffer l'eau. La présence importante des **économies liées à l'adoucissement individuel** s'explique très largement par les nouveautés méthodologiques de notre étude. C'est **la prise en compte beaucoup plus fine de ce vecteur d'impact dans notre méthodologie** qui aboutit à ce que l'arrêt de l'adoucissement individuel soit la deuxième source de réduction des dépenses. En effet, en détaillant **les différentes consommations des adoucisseurs**, mais aussi les **pertes d'eau** et surtout **les volumes d'eau conséquents consommés par les adoucisseurs pour se rincer et se régénérer automatiquement**, sans que les usagers s'en aperçoivent nécessairement génèrent des coûts véritablement importants. Au niveau de la totalité du territoire du SEDIF, même si seulement 11% des foyers (dans la Configuration 1, i.e. pour environ 4M d'usagers, on a 1,7M de foyers, donc 11% correspond à environ 192 760 foyers) desservis possèdent un adoucisseur individuel, ils sont non-négligeables.

Voici le tableau des résultats pour les 3 duretés de notre analyse :

Tableau 13. Réduction des dépenses pour l'ensemble du territoire desservi par le SEDIF (Configuration 1 : 4M d'usagers), pour les 3 duretés finales possibles

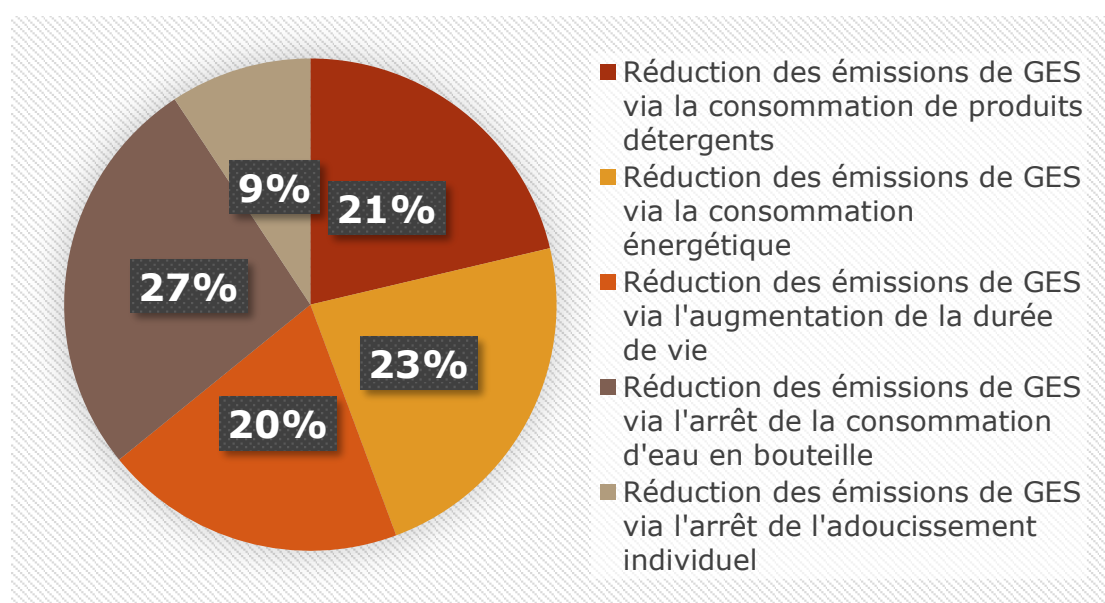
€/an	Dureté finale de 8°f	Dureté finale de 10°f	Dureté finale de 12°f
<b>Via les produits d'entretien</b>	181,6 millions	164,8 millions	147,9 millions
<b>Via l'énergie</b>	74,0 millions	67,1 millions	59,5 millions
<b>Via la durée de vie</b>	43,1 millions	37,5 millions	31,9 millions
<b>Via l'adoucissement</b>	127,7 millions	124,0 millions	120,3 millions
<b>Via l'eau en bouteille</b>	43,1 millions	43,1 millions	43,1 millions

## Analyse de la réduction des émissions de GES

Ce qui saute cette fois-ci aux yeux c'est que **la répartition de la réduction des émissions de GES est plus égalitaire que celle de la réduction des dépenses**, avec 4 vecteurs d'impact qui se partagent presque la totalité de l'impact : via la réduction de la consommation de produits d'entretien (21%), via la réduction de la consommation énergétique (23%), via l'augmentation de la durée de vie des équipements (20%) et via **l'arrêt de la consommation d'eau en bouteille** (27%).

Cependant, c'est quand même ce dernier vecteur qui se distingue avec près d'un tiers de l'impact total. Ceci s'explique aussi **par des raisons méthodologiques** mais pas que, comme pour l'impact de l'adoucissement individuel sur les dépenses. Le calcul de l'impact associé à la consommation d'eau en bouteille que nous proposons part de la **consommation actuelle d'eau en bouteille**, qui est assez élevée (133L par personne et par an) et utilise **une part des usagers prêts à changer de comportement assez élevée** (24,4%, pour plus de détails, cf. Impacts de la consommation d'eau en bouteille).

Figure 8. Répartition de la réduction totale des émissions de GES pour le territoire desservi par le SEDIF, par impact intermédiaire, pour une dureté finale de 10°f



Mais la **raison principale** expliquant la part prépondérante du vecteur d'impact qu'est la consommation d'eau dans l'impact total en réduction des émissions de GES est d'abord que **la consommation d'eau en bouteille produit beaucoup de gaz à effet de serre**, à la fois au niveau de la **production**, du **transport** et de **l'emballage** de l'eau en bouteille. En effet, la fabrication des bouteilles en plastique et leur transport génèrent une quantité considérable d'émissions.



Peut-être plus attendu, la **consommation énergétique** est le deuxième facteur clé de la réduction des émissions de GES. En effet, l'adoucissement de l'eau permet de réduire la formation de tartre dans les appareils tels que les chauffe-eaux, chaudières et autres équipements électroménagers. Cela **améliore leur efficacité énergétique**, ce qui limite la consommation d'énergie et entraîne une réduction directe des émissions de GES. Ceci est d'autant plus vrai que **seul le lien entre la consommation énergétique des chauffe-eaux à gaz et la dureté de l'eau a pu être mis en évidence**, alors que le gaz est une des sources d'énergie les plus émettrices de gaz à effet de serre.

De même, **l'augmentation de la durée de vie des équipements** contribue à une baisse des émissions de GES en réduisant la fréquence de remplacement des appareils et donc les émissions associées à la production et à l'élimination de ces derniers : augmenter la durée de vie des appareils signifie tout simplement **produire moins d'appareils ménagers**. Bien que ces impacts ne soient pas aussi immédiats que ceux liés à la consommation d'eau en bouteille, leur **effet à long terme** est tout de même **substantiel**, particulièrement lorsque l'on considère les nombreux appareils ménagers qui bénéficient de cette réduction de dureté.

Voici le tableau des résultats pour les 3 duretés de notre analyse :

*Tableau 14. Réduction des émissions de GES pour l'ensemble du territoire desservi par le SEDIF (Configuration 1 : 4M d'usagers), pour les 3 duretés finales possibles*

<b>CO<sub>2</sub>eq/an</b>	<b>Dureté finale de 8°f</b>	<b>Dureté finale de 10°f</b>	<b>Dureté finale de 12°f</b>
<b>Via les produits d'entretien</b>	30,1 kt	27,7 kt	25,3 kt
<b>Via l'énergie</b>	34,4 kt	30,0 kt	25,4 kt
<b>Via la durée de vie</b>	28,5 kt	25,8 kt	22,8 kt
<b>Via l'adoucissement</b>	13,4 kt	12,1 kt	10,8 kt
<b>Via l'eau en bouteille</b>	34,5 kt	34,5 kt	34,5 kt

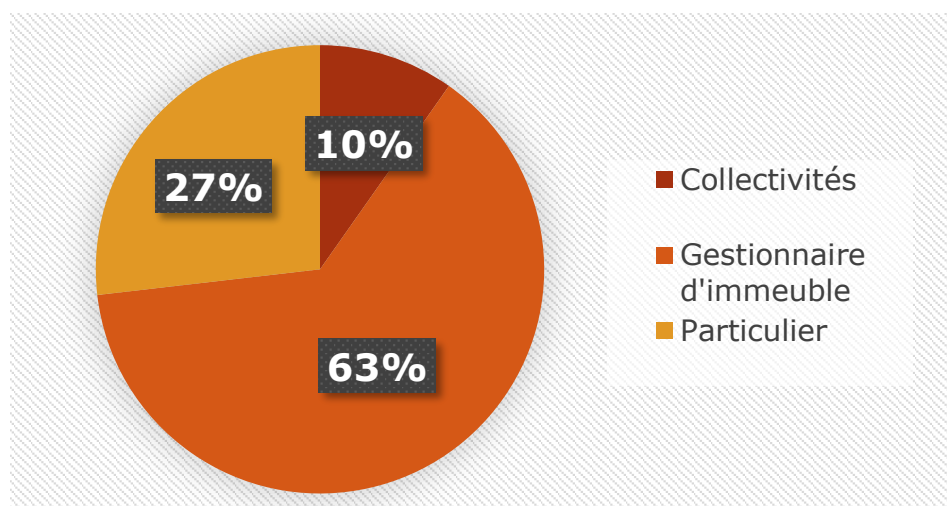


## 2 IMPACTS GLOBAUX PAR CATÉGORIE D'USAGERS ET PAR POSTE DE CONSOMMATION

### Analyse des impacts globaux par catégorie d'utilisateurs

La répartition des impacts globaux par catégorie d'utilisateurs est **stable quelle que soit la dureté finale et le vecteur d'impact considéré** car les parts des différents types d'utilisateurs sont appliquées aux différents impacts pour en déduire l'impact associé à chaque type d'utilisateur. Ainsi, lorsqu'on regarde la répartition de n'importe quel impact final (réduction des dépenses, ou réduction des GES), on retrouve toujours la répartition initiale (cf. *Figure 2. Répartition des volumes d'eau distribués par le SEDIF par types d'utilisateurs considérés dans notre étude, Configuration 2*)

Figure 9. Répartition des impacts finaux par catégorie d'utilisateurs



Ainsi, les **gestionnaires d'immeubles**, qui sont la catégorie d'utilisateur la plus représentée dans les volumes consommés, sont aussi la catégorie d'utilisateur qui **héritent de la majeure partie des impacts finaux**.

Si l'on s'intéresse à une catégorie d'utilisateurs spécifiquement, **l'analyse est très peu différente de celle des résultats globaux** puisqu'on applique à ces résultats globaux le pourcentage de chacune des catégories d'utilisateurs. En effet, si le lecteur veut recalculer la part de chacun des impacts intermédiaires dans l'impact global du projet sur une catégorie d'utilisateur spécifique, celui-ci retrouvera **les parts dans la réduction des dépenses et les parts dans la réduction des émissions de GES dans le total des impacts**, présentées dans la sous-partie précédente (*D'où viennent ces impacts ? Répartition des impacts finaux par impact intermédiaire*). Les tableaux de résultats suivants permettent justement de faire ces calculs.

Tableau 15. Répartition des impacts finaux par catégorie d'usagers, pour la dureté finale de 10°f, Configuration 1 (4M d'usagers)

Impact final	Collectivités	Gestionnaires d'immeubles	Particuliers
<b>Réduction des dépenses (€/an)</b>	42,6 millions	276,7 millions	117,1 millions
<b>Réduction des émissions de GES (CO<sub>2</sub>eq/an)</b>	12,7 kt	82,4 kt	34,9 kt

Tableau 16. Répartition de la réduction des dépenses par vecteurs d'impact et catégorie d'usagers, dureté finale de 10°f, Configuration 1 (4M d'usagers)

€/an	Collectivités	Gestionnaires d'immeubles	Particuliers
<b>Via les produits d'entretien</b>	16,1 millions	104,5 millions	44,2 millions
<b>Via l'énergie</b>	3,7 millions	23,8 millions	10,1 millions
<b>Via la durée de vie</b>	6,5 millions	42,5 millions	17,9 millions
<b>Via l'adoucissement</b>	12,1 millions	78,6 millions	33,3 millions
<b>Via l'eau en bouteille</b>	4,2 millions	27,3 millions	11,6 millions

Tableau 17. Répartition de la réduction des émissions de GES par vecteur d'impact et par catégorie d'usagers, dureté finale de 10°f, Configuration 1 (4M d'usagers)

CO <sub>2</sub> eq/an	Collectivités	Gestionnaires d'immeubles	Particuliers
<b>Via les produits d'entretien</b>	2,7 kt	17,6 kt	7,4 kt
<b>Via l'énergie</b>	2,9 kt	18,9 kt	8,0 kt
<b>Via la durée de vie</b>	2,5 kt	16,3 kt	6,9 kt
<b>Via l'adoucissement</b>	1,2 kt	7,7 kt	3,2 kt
<b>Via l'eau en bouteille</b>	3,4 kt	21,9 kt	9,2 kt

Ainsi, comme dans l'analyse globale, pour la réduction des dépenses, ce sont la **réduction de la consommation de produits détergents** et **l'arrêt de l'adoucissement individuel** qui importent le plus ; et pour la réduction des émissions de GES, ce sont la **réduction de la consommation de produits détergents** et la **réduction de la consommation énergétique**. Plus de détails en annexe **B2. RÉSULTATS DES CATÉGORIE D'USAGERS**

## Analyse des impacts globaux par poste de consommation

Ce qui est vrai pour la répartition par catégorie d'usagers, le fait de retrouver les parts a priori des catégories d'usagers dans les résultats finaux, ne l'est pas pour la répartition par postes de consommation. En effet, **les résultats des postes de consommation globaux n'ont pas été construits en appliquant des pourcentages a priori aux résultats finaux**. Ainsi, nous ne retrouvons pas dans les impacts finaux les parts des postes de consommation (comparer les figures suivantes à la *Figure 5. Répartition des volumes distribués par poste de consommation d'eau*).

Figure 10. Répartition de la réduction globale des dépenses, par poste de consommation

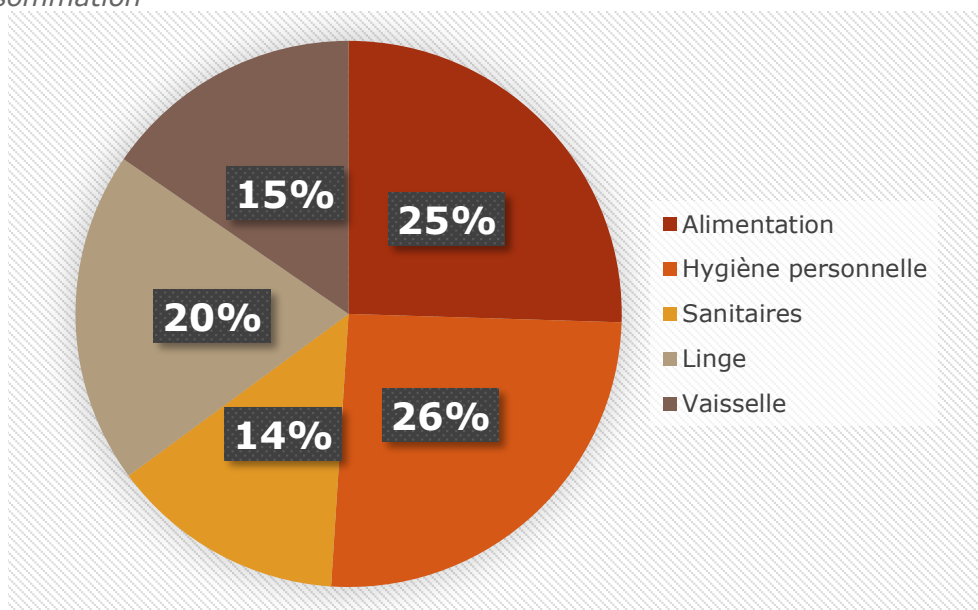
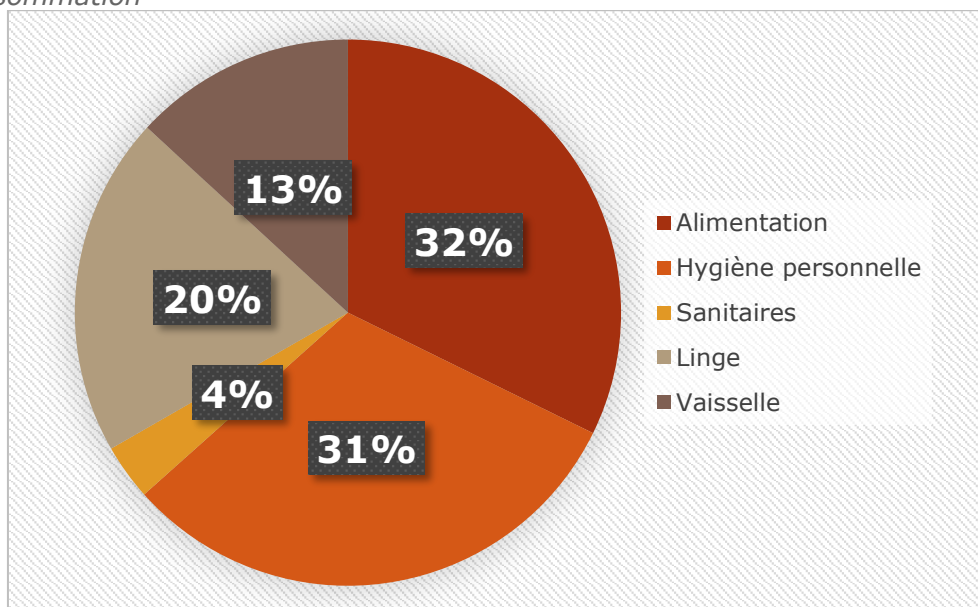


Figure 11. Répartition de la réduction globale des émissions de GES, par poste de consommation



Cela vient principalement du fait que **les différents postes de consommation ne correspondent pas aux mêmes usages et n'ont pas donc pas été alimentés de la même manière par les différents vecteurs d'impacts ni par les équipements** (cf. la sous-partie *Comment chaque vecteur alimente l'impact de chaque poste de consommation*). Ainsi, l'impact lié à chaque poste de consommation ne peut pas être simplement calculé par l'application de sa part sur le résultat global.

Les deux graphiques ci-dessus permettent l'analyse plus poussée suivante. Pour la **réduction des dépenses, le poste « Hygiène personnelle » se distingue avec 26 % des économies réalisées**. Ce résultat est fortement lié à la baisse de consommation d'énergie par le chauffe-eau et à l'arrêt de l'adoucissement individuel, dont les coûts d'entretien sont élevés. **Juste derrière, le poste « Alimentation » (25 %)** est majoritairement influencé par l'arrêt de la consommation d'eau en bouteille, mais aussi par une réduction des besoins en nettoyage des appareils comme la machine à café ou la bouilloire, et enfin par l'arrêt de l'adoucissement dont un tiers de l'impact compte dans le poste alimentation. **Le poste « Linge » représente 20 % des économies**. La baisse de consommation de lessive et une meilleure efficacité du lave-linge sont ici les facteurs clés. **La « Vaisselle » (15 %)** suit, tirant profit de la diminution des quantités de produit vaisselle utilisées et de l'amélioration de l'efficacité énergétique du lave-vaisselle. Enfin, **les « Sanitaires » (14 %)** bénéficient principalement de la réduction des besoins en détartrage des installations (notamment bouilloires et cafetières), et de l'arrêt de l'adoucissement individuel.

La **réduction des émissions de GES** suit une logique similaire, avec quelques écarts intéressants. **Le poste « Alimentation » est ici en tête (32 %)**, un effet amplifié par la fin de l'eau en bouteille – dont l'impact carbone du transport et de la fabrication plastique est élevé – et par les économies indirectes liées à une moindre usure des appareils électroménagers. **L'« Hygiène personnelle » suit de près (31 %)**, très largement grâce à la réduction de l'usage du chauffe-eau (très énergivore) et à la baisse des produits d'hygiène. **Le « Linge » contribue à 20 %** de la réduction des GES, notamment via la baisse de la consommation de lessive et une consommation énergétique moindre du lave-linge. **La « Vaisselle » arrive à 13 %**, notamment via le lave-vaisselle. Enfin, **les « Sanitaires » n'apportent que 4 %** des gains environnementaux, confirmant leur rôle plus marginal.

**Le poste « Alimentation »**, bien qu'important en termes d'économies (25 %), **a un impact environnemental encore plus prononcé (32 %)**, porté par la suppression de l'eau en bouteille. **De même pour le poste « Hygiène personnelle »** (26% contre 31%), qui, lui, est porté par les économies énergétiques du chauffe-eau.

Ainsi, **les résultats sont aussi très cohérents avec la distribution des impacts intermédiaires parmi les postes de consommation**, avec les deux postes « Alimentation » et « Hygiène personnelle » étant les deux postes recevant le plus de tous les impacts intermédiaires. Plus de détails dans l'annexe **B3. RÉSULTATS DES POSTES DE CONSOMMATION**.

Tableau 18. Répartition des impacts finaux par poste de consommation, pour une dureté finale de 10°f, Configuration 1 (4M d'utilisateurs)

Impact final	Alimenta- tion	Hygiène personnelle	Sanitaire	Linge	Vaisselle
<b>Réduction des dépenses (€/an)</b>	111,2 millions	111,4 millions	60,6 millions	85,9 millions	67,2 millions
<b>Réduction des émissions de GES (CO<sub>2</sub>eq/an)</b>	42 kt	40,5 kt	4,3 kt	26,2 kt	17,1 kt

Tableau 19. Répartition de la réduction des dépenses par vecteur d'impact et par poste de consommation, dureté finale de 10°f, Configuration 1 (4M d'utilisateurs)

€/an	Alimenta- tion	Hygiène personnelle	Sanitaire	Linge	Vaisselle
<b>Via produits d'entretien</b>	22,1 millions	17,8 millions	19,2 millions	85,9 millions	67,2 millions
<b>Via l'énergie</b>	5,0 millions	38,1 millions	0	26,2 kt	17,1 kt
<b>Via la durée de vie</b>	3,5 millions	14,2 millions	0		
<b>Via adoucissement</b>	42,6 millions	41,3 millions	41,3 millions	0	0
<b>Via l'eau en bouteille</b>	43,1 millions	0		0	0

Tableau 20. Répartition de la réduction des émissions de GES par vecteur d'impact et par poste de consommation, dureté finale de 10°f, Configuration 1 (4M d'utilisateurs)

CO <sub>2</sub> eq/an	Alimenta- tion	Hygiène personnelle	Sanitaire	Linge	Vaisselle
<b>Via produits d'entretien</b>	0,3 kt	1,8 kt	0,3 kt	13,5 kt	11,9 kt
<b>Via l'énergie</b>	0,7 kt	24,6 kt	0	4,0 kt	0,7 kt
<b>Via la durée de vie</b>	2,4 kt	10,1 kt	0	8,7 kt	4,5 kt
<b>Via adoucissement</b>	4,0 kt	4,0 kt	4,0 kt	0	0
<b>Via l'eau en bouteille</b>	34,5 kt	0	0	0	0

### 3 DÉTAIL DES IMPACTS INTERMÉDIAIRES ET SPÉCIFIQUES, POUR UN FOYER MOYEN ET POUR TOUT LE TERRITOIRE

Cette partie a pour vocation d'entrer dans le **détail** de **tous les deltas d'impact avant/après projet du SEDIF que nous avons calculés**, et d'exposer pour la première fois de ce rapport **les résultats pour un foyer moyen desservi par le SEDIF**. Nous souhaitons rappeler que le foyer moyen considéré ici est « moyen » pour deux raisons :

- Il correspond à la **moyenne pondérée** des résultats pour un foyer moyen desservi par chaque usine
- A partir des impacts spécifiques, le foyer moyen considéré pour chaque usine est **un foyer qui bénéficie de la redistribution égalitaire** à tous les foyers du territoire des gains générés par certains foyers du territoire avec l'arrêt de la consommation d'eau en bouteille et l'arrêt de l'adoucissement individuel ("**équirépartition**").

#### Impacts intermédiaires

##### Consommation de produits d'entretien

Ci-après, les résultats pour un foyer moyen desservi par le SEDIF :

Tableau 21. Réduction de la consommation de produits d'entretien, pour un foyer moyen desservi par le SEDIF, par appareil ménager et par dureté finale

Consommation (kg/foyer/an)	Dureté finale de 8°f	Dureté finale de 10°f	Dureté finale de 12°f
<b>Lessive</b>	10,5	9,1	7,7
<b>Produit vaisselle<sup>18</sup></b>	4,6	4,6	4,6
<b>Savon corporel</b>	1,7	1,4	1,2
<b>Bouilloire</b>	0,7	0,6	0,5
<b>Machine à café</b>	1,0	0,8	0,7
<b>TOTAL</b>	<b>18,4</b>	<b>16,6</b>	<b>14,8</b>

<sup>18</sup> Nous avons le même résultat pour les 3 duretés car les trois duretés finales sont inférieures à 14,5°f. Cf. **A13. FORMULES DÉTAILLÉES DES IMPACTS INTERMÉDIAIRES**

Ici, la **réduction de la consommation de lessive de 9,1 kg par foyer moyen par an** pour la dureté finale post-décarbonatation de 10°f correspond à **l'économie de la lessive d'environ 100 cycles de lavage**, en supposant une utilisation moyenne de 90 g par cycle (soit la quantité nécessaire pour laver 6 à 7 kilos de linge sec par cycle)<sup>19</sup>. De même, **la réduction de la consommation de savon corporel de 1,4 kg par foyer moyen par an** pour la dureté finale de 10°f correspond environ à **l'économie de la quantité de savon utilisée par une personne pour un an de douches**<sup>20</sup> à raison d'une douche par jour<sup>21</sup>, qui est de 1,2 kg (4g multiplié par 300 douches par an par personne environ).

Ci-après, veuillez trouver la réduction de la consommation de produits d'entretien pour l'ensemble du territoire du SEDIF dans le cadre de la configuration 1 (4M d'usagers) :

Tableau 22. Réduction de la consommation de produits d'entretien, sur tout le territoire desservi par le SEDIF (4M), pour appareil ménager et par dureté finale

Consommation (kg/foyer/an)	Dureté finale 8°f	Dureté finale 10°f	Dureté finale 12°f
<b>Lessive</b>	18 386 116	15 982 074	13 578 031
<b>Produit vaisselle</b>	8 085 771	8 085 771	8 085 771
<b>Savon corporel</b>	2 918 554	2 536 944	2 155 334
<b>Bouilloire</b>	1 156 992	1 005 712	854 432
<b>Machine à café</b>	1 700 428	1 478 092	1 255 756
<b>TOTAL</b>	<b>32 247 862</b>	<b>29 088 592</b>	<b>25 929 323</b>

<sup>19</sup> Source de 90g pour 6 à 7 kg de linge sec : <https://pause-maison.ouest-france.fr/bonne-quantite-de-lessive-pour-laver-son-linge/#>

<sup>20</sup> Source de 75g de savon solide correspondent à 50 shampoings, soit 1,5g de savon solide par lavage et avec du savon liquide, on double le nombre de grammes utilisés à chaque lavage, donc plutôt 3 à 4g de savon par douche [https://unbottled.co/blogs/journal/comment-conserver-et-faire-durer-son-savon-ou-shampoing-solide?srsIid=AfmBOoq5Q\\_W8FskHUsAXLC8mWMCNcQGghkFzn5tC3WFnK8ph4c\\_wIL916](https://unbottled.co/blogs/journal/comment-conserver-et-faire-durer-son-savon-ou-shampoing-solide?srsIid=AfmBOoq5Q_W8FskHUsAXLC8mWMCNcQGghkFzn5tC3WFnK8ph4c_wIL916)

<sup>21</sup> Source du nombre moyen de douches par semaine pour un Français : 70% se douchent 7 fois par semaine (chaque jour), 19,5% 2 fois par semaine, le reste 4 fois par semaine : en moyenne 5,71 douches par semaine. <https://www.leprogres.fr/magazine-lifestyle/2022/08/31/certains-francais-avouent-se-laver-moins-d-une-fois-par-semaine>

Figure 12. Réduction de la consommation de produits d'entretien pour un foyer moyen du territoire desservi par le SEDIF, par appareil ménager et par dureté finale

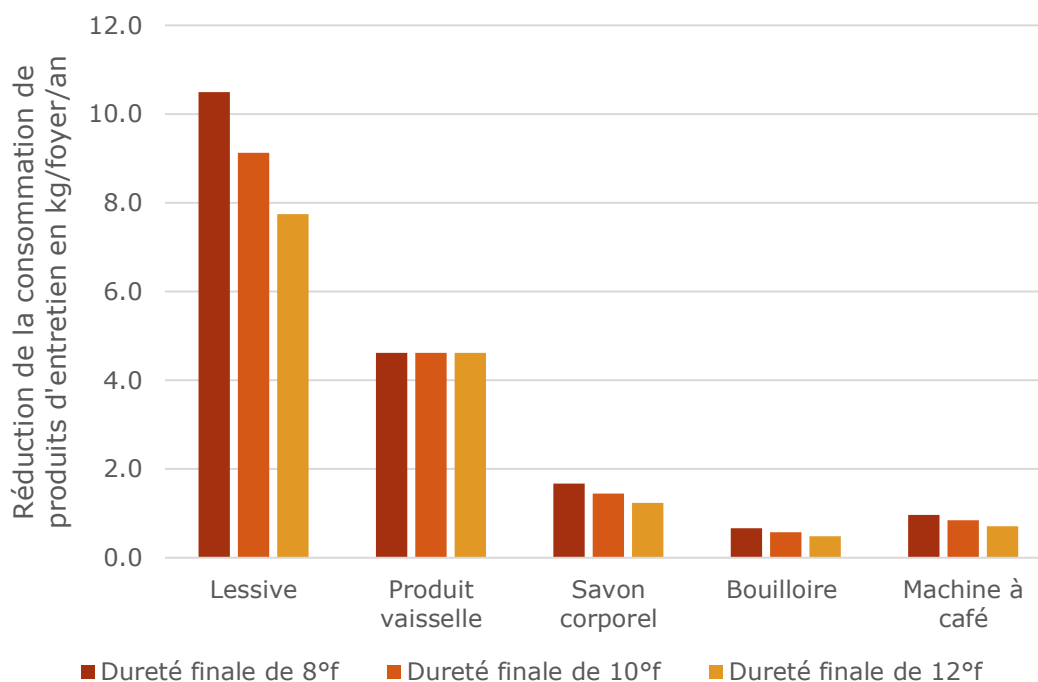
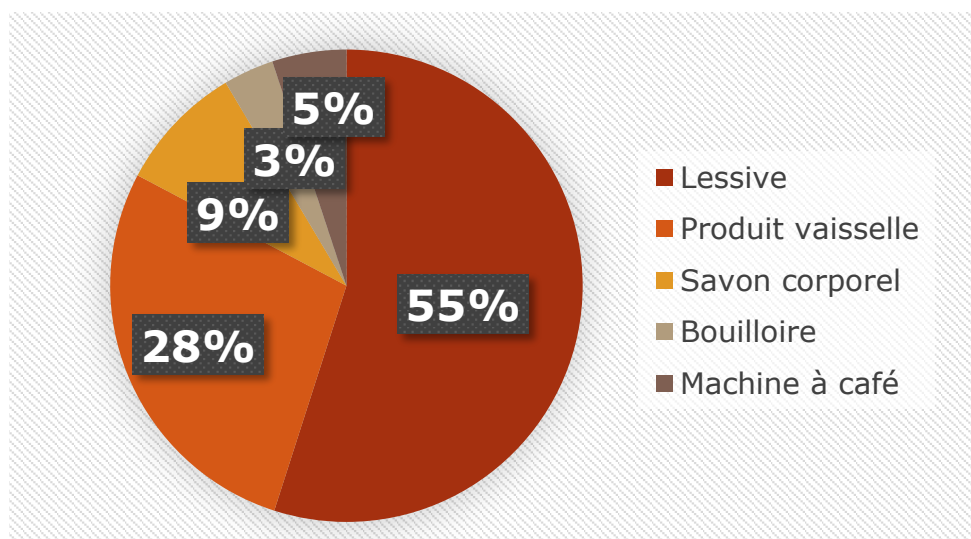


Figure 13. Répartition de la réduction de la consommation de produits d'entretien pour un foyer moyen du territoire desservi par le SEDIF, par appareil ménager pour la dureté finale de 10°f



Il est intéressant de noter que ce sont les impacts que l'on pourrait relier au **lave-linge** (lessive : **55%**) et au **lave-vaisselle** (produit vaisselle : **28%**) qui sont les plus importants : le savon corporel (que l'on pourrait relier plutôt au chauffe-eau qui permet la production locale de l'eau chaude sanitaire nécessaire aux douches) n'arrive qu'en 3<sup>ème</sup> position.



## Consommation énergétique

Ci-après, les résultats pour un foyer moyen desservi par le SEDIF :

Tableau 23. Réduction de la consommation énergétique, pour un foyer moyen desservi par le SEDIF, par appareil ménager et par dureté finale

Consommation (kWh/foyer/an)	Dureté finale 8°f	Dureté finale 10°f	Dureté finale 12°f
<b>Chauffe-eau</b>	67,4	58,6	49,8
<b>Lave-linge</b>	44,8	39,0	33,1
<b>Bouilloire</b>	3,2	2,8	2,4
<b>Lave-vaisselle</b>	8,0	6,9	5,9
<b>Machine à café</b>	4,7	4,1	3,5
<b>TOTAL</b>	<b>128,2</b>	<b>111,4</b>	<b>94,7</b>

Ainsi, les principales réductions de consommation énergétique sont liées au **chauffe-eau** et au **lave-linge** pour les raisons suivantes :

- Ce sont des appareils dont l'utilisation nécessite **de faire chauffer de grand volume d'eau**. Dès lors, **la perte d'efficacité des systèmes de chauffage à cause de la dureté de l'eau** se fait beaucoup ressentir. En effet, pour chauffer une même quantité d'eau à la même température, pour une dureté élevée, nécessite plus d'énergie que pour une dureté faible.
- De plus, le chauffe-eau et le lave-linge sont des équipements qui sont **utilisés assez régulièrement, voire quotidiennement** pour le chauffe-eau, et qui consomment donc beaucoup d'énergie de manière générale, ce qui renforce l'impact. Les économies sont **proportionnelles à l'intensité de cette utilisation**.

D'après ENGIE Particuliers<sup>22</sup>, 39 kWh équivaut à plus de **100 cycles d'un lave-linge de classe énergétique A**, et à environ 50 cycles d'un lave-linge de classe énergétique E ou F. Cela équivaut aussi à 1 mois et demi d'utilisation d'un chauffe-eau domestique.

<sup>22</sup> Eux-mêmes d'après une étude de l'ADEME :

<https://particuliers.engie.fr/economies-energie/conseils-economies-energie/conseils-calcul-consommation/comment-calculer-la-consommation-de-votre-lave-linge.html>.

Ci-après, veuillez trouver la réduction de la consommation énergétique pour l'ensemble du territoire du SEDIF dans le cadre de la configuration 1 (4M d'usagers) :

Tableau 24. Réduction de la consommation énergétique, sur tout le territoire desservi par le SEDIF, pour appareil ménager et par dureté finale

Consommation (kWh/foyer/an)	Dureté finale 8°f	Dureté finale 10°f	Dureté finale 12°f
<b>Chauffe-eau</b>	118 194 742	102 740 409	87 286 075
<b>Lave-linge</b>	78 572 494	68 298 894	58 025 294
<b>Bouilloire</b>	5 653 813	4 914 559	4 175 305
<b>Lave-vaisselle</b>	13 945 852	12 122 388	10 298 924
<b>Machine à café</b>	8 311 713	7 224 930	6 138 148
<b>TOTAL</b>	<b>224 678 613</b>	<b>195 301 180</b>	<b>165 923 746</b>

La réduction de la dureté de l'eau à 10°f permet de réaliser **une économie d'énergie d'environ 195M de kWh**, ce qui représente :

- L'électricité annuelle consommée par 80 000 foyers français<sup>23</sup>
- La production énergétique de 45 éoliennes d'une puissance<sup>24</sup> de 2MW fonctionnant à plein régime pendant une année<sup>25</sup>.
- L'énergie pour faire fonctionner environ 27 millions d'ampoules LED de 10W fonctionnant 2 heures par jour<sup>26</sup>.

<sup>23</sup> Un foyer moyen consomme 2 223 kWh par an :

<https://particuliers.engie.fr/electricite/conseils-electricite/conseils-tarifs-electricite/consommation-moyenne-electricite-personne.html>

<sup>24</sup> La **puissance** d'un appareil est la **quantité d'énergie** consommée ou produite (consommée par l'ampoule, mais produite par l'éolienne) **sur une durée de temps donnée** : 1W correspond à 1J par seconde (1 J/s). Puisque nos appareils ménagers sont labélisés en fonction de leur puissance, nous avons aussi pris l'habitude de parler de quantité d'énergie en Wh, i.e. en puissance multipliée par une unité de temps, ce qui donne bien une quantité d'énergie. 1 Wh correspond à l'énergie consommée par l'utilisation d'un appareil ménager d'une puissance d'1W pendant une heure, soit 3600 J (car il y a 3600 secondes dans une heure).

<sup>25</sup> Une éolienne de 2MW produit en moyenne 4500 MWh par an soit 4,5M de kWh par an : <https://www.ariège.gouv.fr/content/download/22701/138778/file> (slide 10 sur 67). Cette source corrobore aussi la précédente : un foyer consommerait environ 2 580 kWh par an.

<sup>26</sup> Une LED de 10W fonctionnant 2 heures par jour consomme 7,2 kWh par an : <https://www.silamp.fr/pages/consommation-ampoule-led>

Figure 14. Réduction de la consommation énergétique pour un foyer moyen du territoire desservi par le SEDIF, par appareil ménager et par dureté finale

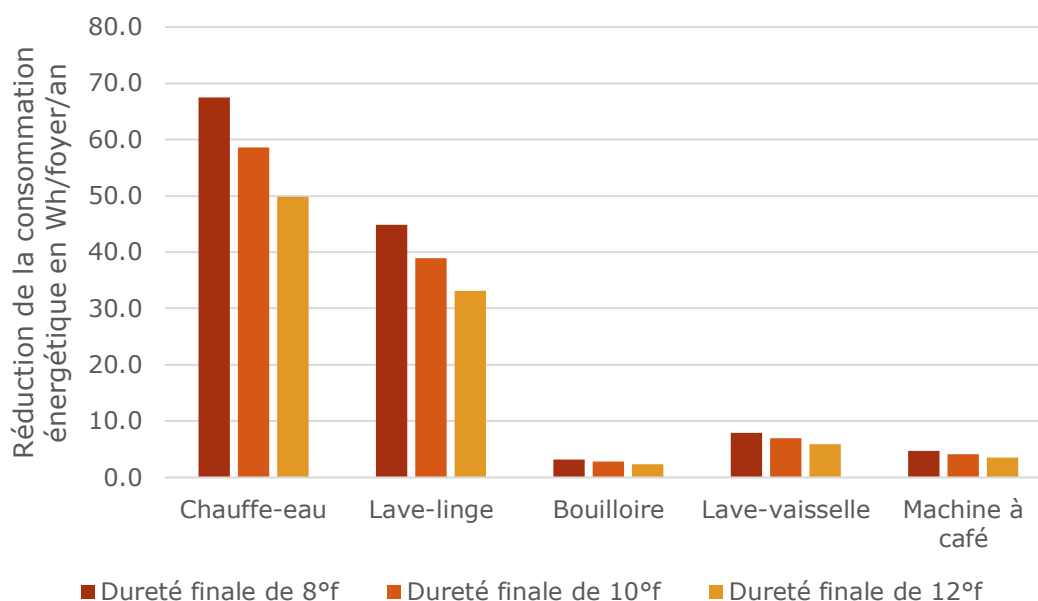
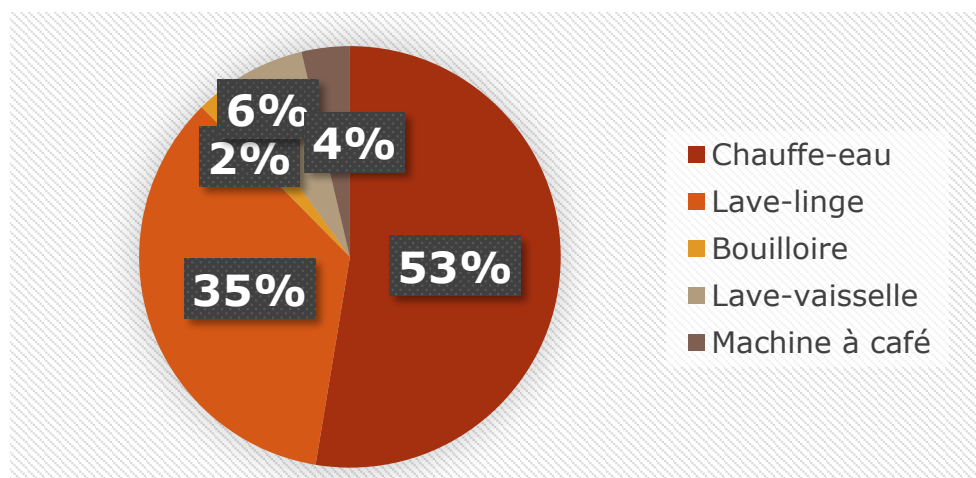


Figure 15. Répartition de la réduction de la consommation énergétique pour un foyer moyen du territoire desservi par le SEDIF, par appareil ménager pour la dureté finale de 10°f



Il est intéressant de remarquer que **le chauffe-eau représente 53% du total des économies énergétiques**, et **le lave-linge 35%**, ce qui signifie qu'à eux-seuls ils représentent presque les 9/10 des impacts en réduction de la consommation énergétique. Cela s'explique par leur **forte consommation d'eau chaude** et que ces appareils sont gourmands en énergie. En fonction des modèles, un lave-linge consomme près de 1 kWh, et un chauffe-eau consomme 800 kWh/an et par personne en moyenne en France en 2022.<sup>27</sup>

<sup>27</sup> <https://www.thermor.fr/nos-conseils/quelle-est-la-consommation-d-un-chauffe-eau-electrique>

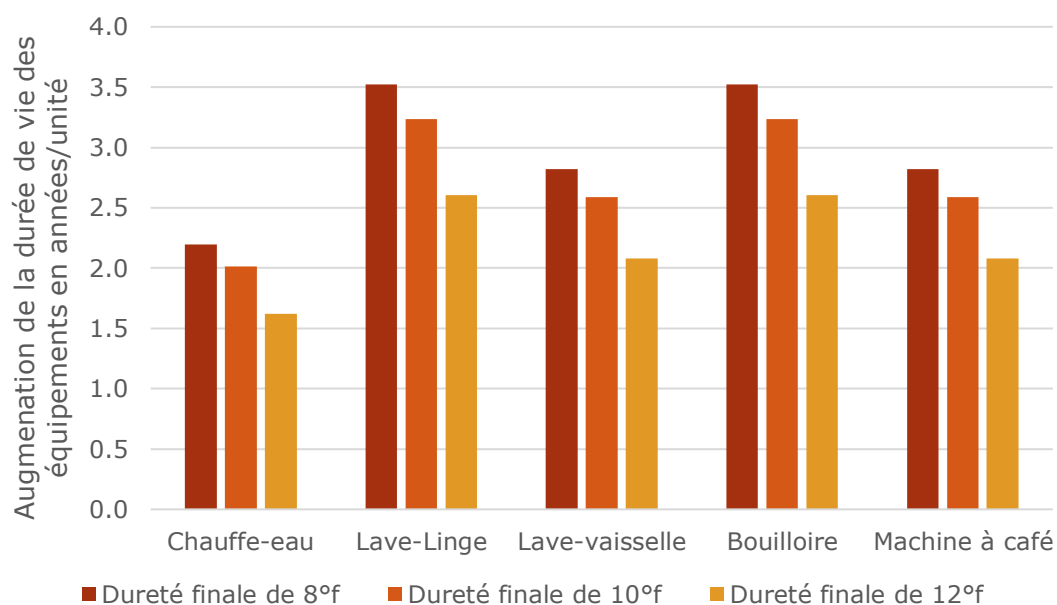
## Durée de vie

Tableau 25. Impact sur la durée de vie des appareils utilisés par les foyers desservis par le SEDIF, pour les 3 scénarios de dureté finale

Durée de vie (années/unité)	Dureté finale 8°f	Dureté finale 10°f	Dureté finale 12°f
<b>Chauffe-eau</b>	2,2	2,0	1,6
<b>Lave-linge</b>	3,5	3,2	2,6
<b>Bouilloire</b>	2,8	2,6	2,1
<b>Lave-vaisselle</b>	3,5	3,2	2,6
<b>Machine à café</b>	2,8	2,6	2,1
<b>MOYENNE</b>	<b>2,2</b>	<b>2,0</b>	<b>1,6</b>

Ce tableau montre que la réduction de la dureté de l'eau peut **significativement prolonger la durée de vie des appareils ménagers**, notamment pour les lave-linges et bouilloires, et ce, sans nécessiter de changement de comportement des usagers. Globalement, les résultats indiquent une augmentation de la durée de vie variant **entre 1,5 et 3,5 ans** selon l'équipement et le scénario de dureté.

Figure 16. Augmentation de la durée de vie pour un foyer moyen du territoire desservi par le SEDIF, par appareil ménager et par dureté finale



## Impacts spécifiques

Les **impacts spécifiques** peuvent être calculés pour **deux types de foyers** : **les foyers qui les génèrent directement** et en profitent donc directement, mais aussi pour **les foyers moyens du territoire**, comme si les économies générées par les premiers étaient équitablement distribuées sur tous les foyers du territoire. C'est dans cette sous-partie que le terme « foyer moyen » prend tout son sens.

### Consommation d'eau en bouteille

L'arrêt de la consommation d'eau en bouteille étant modélisé comme une **variable binaire** qui s'active totalement pour un certain nombre de foyers lors de la mise en place du projet de nouveau traitement membranaire par le SEDIF, **les impacts ne dépendent pas de la dureté de l'eau**. Nous sommes donc rassurés de constater que nos résultats restent **inchangés quelle que soit la dureté de l'eau**.

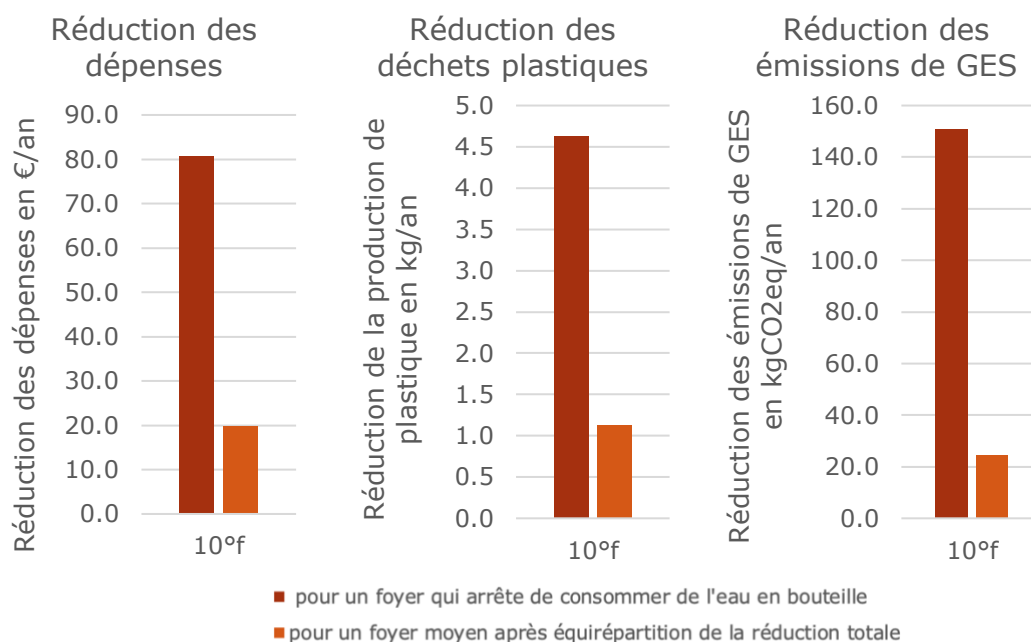
Ce tableau présente les résultats finaux générés par l'arrêt de la consommation d'eau en bouteille par type de foyer.

Tableau 26. Impacts générés par l'arrêt de la consommation d'eau en bouteille pour un foyer, par type de foyer et par dureté finale

DURETÉ DE L'EAU	Dureté finale 8°f	Dureté finale 10°f	Dureté finale 12°f
<b>Réduction des émissions de GES (kgCO<sub>2</sub>eq/an)</b>			
<b>Pour un foyer qui arrête de consommer de l'eau en bouteille</b>	80,6	80,6	80,6
<b>Pour un foyer moyen après équi-répartition de la réduction totale</b>	19,7	19,7	19,7
<b>Réduction de la production de plastique (kg/an)</b>			
<b>Pour un foyer qui arrête de consommer de l'eau en bouteille</b>	4,6	4,6	4,6
<b>Pour un foyer moyen après équi-répartition de la réduction totale</b>	1,1	1,1	1,1
<b>Réduction des dépenses (€/an)</b>			
<b>Pour un foyer qui arrête de consommer de l'eau en bouteille</b>	100,6	100,6	100,6
<b>Pour un foyer moyen après équi-répartition de la réduction totale</b>	24,6	24,6	24,6

Puisqu'une bouteille d'eau d'1,5L coûte en moyenne 50 centimes, et pèse en moyenne 23g, **100€ de réduction des dépenses par an et 4,6 kg de plastique produit par an évité correspond à l'économie de l'achat d'environ 200 bouteilles d'1,5L d'eau par an.**

Figure 17. Impacts générés par l'arrêt de la consommation d'eau en bouteille pour un foyer, par type de foyer, pour une dureté finale de 10°f



Il est aussi très intéressant de regarder **la totalité des bénéfices générés par les foyers qui arrêtent de consommer de l'eau en bouteille** (24,4% donc environ 970 000 foyers dans la Configuration 1). Ce sont ces chiffres qui sont ensuite divisés par le nombre de foyers de la Configuration 1 (environ 4M d'utilisateurs donc environ 1,8M d'utilisateurs) pour calculer les chiffres du tableau précédent.

Tableau 27. Impacts générés par l'arrêt de la consommation d'eau en bouteille de 24,4% des foyers (Configuration 1 : 1,8M de foyers), par dureté finale

DURETÉ DE L'EAU	Dureté finale 8°f	Dureté finale 10°f	Dureté finale 12°f
<b>Réduction des émissions de GES (ktCO<sub>2</sub>eq/an)</b>			
Générée par tous les foyers qui arrêtent l'eau en bouteille	35	35	35
<b>Réduction de la production de plastique (tonnes/an)</b>			
Générée par tous les foyers qui arrêtent l'eau en bouteille	1 983	1 983	1 983
<b>Réduction des dépenses (M€/an)</b>			
Générée par tous les foyers qui arrêtent l'eau en bouteille	43	43	43

35 kt de CO<sub>2</sub> équivalent correspond à **350 000 allers-retours à Bordeaux** en voiture thermique<sup>28</sup> et 43M d'€ **représente 5,7 millions de repas scolaires** (dont le coût pour l'État est estimé en moyenne à 7,5€)<sup>29</sup>.

Nous savons par ailleurs que **les résultats pour un foyer moyen du territoire après équi-répartition reposent sur une donnée difficile à estimer**, pour laquelle nous n'avons pas d'autres choix que de prendre **une hypothèse assez forte : la part des personnes qui boivent de l'eau en bouteille au quotidien et qui seraient prêts à arrêter si la dureté de l'eau diminuait**, que nous avons estimée à 24% grâce aux données du CIEAU. Le tableau suivant permet d'analyser la **sensibilité des résultats à cette hypothèse**. Pour une part des personnes prêts à changer de comportement à 10%, **l'impact pour un foyer moyen après équi-répartition reste significatif pour les émissions de GES, mais l'est beaucoup moins en termes de dépenses** : 8,1 kgCO<sub>2</sub>eq correspond à 0,5% du « budget » carbone que tout un chacun devrait dépenser chaque année, évalué à 2 tCO<sub>2</sub>eq/an, et ce uniquement en arrêtant d'acheter de l'eau en bouteille.

Tableau 28. Étude de la sensibilité des résultats à la part des personnes prêtes à arrêter la consommation d'eau en bouteille (Configuration 1 : 1,8M de foyers)

<b>PART PRÊTS À CHANGER</b>	<b>24%</b>	<b>15%</b>	<b>10%</b>
<b>Réduction des émissions de GES (CO<sub>2</sub>eq/an)</b>			
<b>Générée par tous les foyers qui arrêtent l'eau en bouteille</b>	35 kt	21 kt	14 kt
<b>Pour un foyer moyen après équi-répartition de la réduction totale</b>	19,7 kg	12,1 kg	8,1 kg
<b>Réduction de la production de plastique (quantité/an)</b>			
<b>Générée par tous les foyers qui arrêtent l'eau en bouteille</b>	1 983 t	1 217 t	811 t
<b>Pour un foyer moyen après équi-répartition de la réduction totale</b>	1,1 kg	0,7 kg	0,5 kg
<b>Réduction des dépenses (€/an)</b>			
<b>Générée par tous les foyers qui arrêtent l'eau en bouteille</b>	43 M€	26 M€	18 M€
<b>Pour un foyer moyen après équi-répartition de la réduction totale</b>	24,6 €	15,1 €	10,1 €

<sup>28</sup> Une voiture thermique émet en moyenne 100 g de CO<sub>2</sub>eq par km :

<https://carlabelling.ademe.fr/chiffrescles/r/moyenneEmissionCo2Gamme>

<sup>29</sup> [https://sante.gouv.fr/IMG/pdf/tarification\\_sociale\\_cantines.pdf](https://sante.gouv.fr/IMG/pdf/tarification_sociale_cantines.pdf) (slide 7)

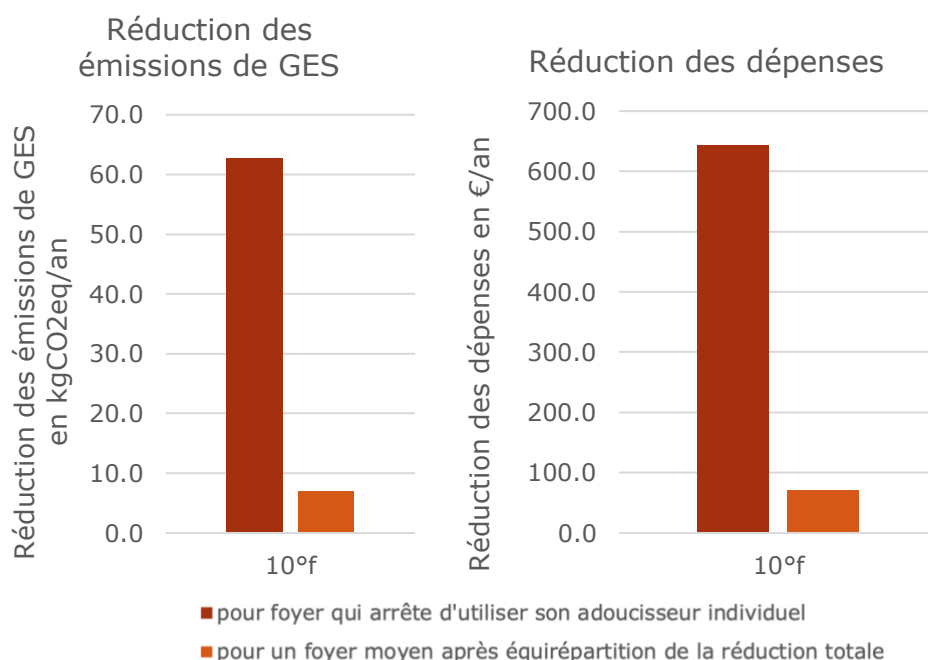
## Adoucissement individuel

Nous avons précédemment évoqué **l'impact financier important** généré par l'arrêt de l'adoucissement individuel : ce sont les résultats présentés dans cette section, **à comparer notamment avec les résultats en termes de réduction des dépenses par foyer** de la partie suivante, qui étayent l'importance de l'adoucissement individuel dans la distribution des impacts financiers. Le tableau suivant présente les résultats finaux générés par l'arrêt de l'adoucissement individuel, par type de foyers.

Tableau 29. Impacts générés par l'arrêt de l'adoucissement individuel pour un foyer, par type de foyer et par dureté finale

DURETÉ DE L'EAU	Dureté finale 8°f	Dureté finale 10°f	Dureté finale 12°f
<b>Réduction des émissions de GES (kgCO<sub>2</sub>eq/an)</b>			
<b>Pour un foyer qui arrête complètement l'adoucissement individuel</b>	69,4	62,7	55,9
<b>Pour un foyer moyen après équi-répartition de la réduction totale</b>	7,6	6,9	6,2
<b>Réduction des dépenses (€/an)</b>			
<b>Pour un foyer qui arrête complètement l'adoucissement individuel</b>	662,6	643,3	624,0
<b>Pour un foyer moyen après équi-répartition de la réduction totale</b>	72,9	70,8	68,6

Figure 18. Impacts générés par l'arrêt de l'adoucissement individuel pour un foyer, par type de foyer, pour une dureté finale de 10°f





Nous remarquons ici **qu'un foyer qui possède un adoucisseur et qui peut arrêter de l'utiliser** grâce à l'implémentation du projet du SEDIF **économise sur une année l'équivalent d'un budget mensuel alimentaire d'un foyer de 4 personnes**, comme un couple avec 2 enfants<sup>30</sup>, ce qui n'est évidemment pas négligeable.

Il est aussi très intéressant de regarder **la totalité des bénéfices générés par les foyers qui arrêtent d'utiliser leur adoucisseur personnel** (11% donc environ 440 000 foyers dans la Configuration 1). Ce sont ces chiffres qui sont ensuite divisés par le nombre de foyers de la Configuration 1 (environ 4M d'usagers donc environ 1,8M d'usagers) pour calculer les résultats pour un foyer moyen du tableau précédent.

Tableau 30. Impacts générés par l'arrêt de la consommation d'eau en bouteille de 11% des foyers (Configuration 1, 437 567 de foyers), par dureté finale

DURETÉ DE L'EAU	Dureté finale 8°f	Dureté finale 10°f	Dureté finale 12°f
<b>Réduction des émissions de GES (ktCO<sub>2</sub>eq/an)</b>			
<b>Générée par tous les foyers qui arrêtent l'adoucissement indiv</b>	13	12	11
<b>Réduction des dépenses (M€/an)</b>			
<b>Générée par tous les foyers qui arrêtent l'adoucissement indiv</b>	127	124	120

Ainsi, si la dureté de l'eau après mise en œuvre de l'investissement du SEDIF est de 10°f, l'arrêt de l'adoucissement individuel permet de réaliser à l'échelle du territoire **des économies équivalent à 17 millions de repas scolaires** (toujours estimés à 7,5€ le repas), et **d'éviter des émissions de GES équivalent à 130 000 allers-retours Paris-Bordeaux en voiture thermique**.

Tout comme pour les impacts générés par l'arrêt de la consommation d'eau en bouteille, **les impacts générés par l'arrêt de l'adoucissement individuel pour les foyers moyens après équi-répartition dépendent énormément d'une donnée : la part des ménages possédant un adoucisseur individuel**. Ceci est étudié dans l'annexe *B4. SENSIBILITÉ DES RÉSULTATS A LA PART DES FOYERS POSSÉDANT UN ADOUCISSEUR INDIVIDUEL*.

<sup>30</sup> Cette donnée provient de cet article : [https://coursesplanner.app/blog/budget\\_alimentaire\\_2024](https://coursesplanner.app/blog/budget_alimentaire_2024), qui synthétise différentes études de l'INSEE.

## 4 DÉTAIL DES IMPACTS FINAUX PAR FOYER : DIFFÉRENCES SELON LE TYPE DE FOYER

Les deux sous-parties précédentes permettent de commencer à comprendre que, **selon le type de foyer**, par exemple si un foyer possède un adoucisseur et arrête de l'utiliser, **les impacts réels du projet peuvent être différents**. Cette partie se propose d'explorer ces différences plus en détails, et d'approfondir l'analyse de la réduction des dépenses et des émissions de GES pour un foyer moyen.

### Les 5 types de foyer

Les **deux vecteurs d'impacts spécifiques** que sont la consommation d'eau en bouteille et l'adoucissement individuel, qui nécessitent de faire une hypothèse sur le comportement des foyers, ont le double avantage de permettre **une évaluation plus précise d'un impact pour un foyer moyen** du territoire du SEDIF, et de permettre le développement d'**une typologie des foyers**, selon si ceux-ci bénéficient ou non des impacts liés à ces deux vecteurs.

Comme expliqué dans la sous-partie *Résultats globaux et par type de foyers : l'innovation des persona*, nous avons **4 types de foyer différents, plus un cinquième dit « foyer moyen »**, que nous pouvons représenter avec la matrice suivante qui rappelle et éclaire la *Figure 6. Matrice des 5 types de foyers différents* de cette même partie. Ces types de foyers peuvent correspondre à différents profils socio-démographiques détaillés en annexe *A20. LES PROFILS SOCIOLOGIQUES COMPATIBLES AVEC LES DIFFÉRENTS TYPES DE FOYERS*.

Figure 19. Matrice des 5 types de foyer - version 2

<b>TYPE 5</b> Redistribution des bénéfices générés à tous les foyers du territoire		Bénéficie des économies et des réductions d'émissions de GES liées à <b>l'arrêt de la consommation d'eau en bouteille</b>	
		OUI	NON
Bénéficie des économies et des réductions des émissions de GES liées à <b>l'arrêt de l'adoucissement individuel</b>	OUI	<b>TYPE 1</b>	<b>TYPE 2</b>
	NON	<b>TYPE 3</b>	<b>TYPE 4</b>

## Réduction des dépenses

### Comparaison des différents types de foyer

Le tableau suivant présente l'évolution de la réduction des dépenses pour les cinq types de foyers et les trois niveaux de dureté finale de l'eau.

Tableau 31. Réduction des dépenses pour un foyer, par type de foyer et par dureté finale

€/an	Dureté finale de 8°f	Dureté finale de 10°f	Dureté finale de 12°f
<b>Foyer de type 1</b> (les deux)	933,73	897,59	861,14
<b>Foyer de type 2</b> (adouciss.)	833,09	796,96	760,51
<b>Foyer de type 3</b> (eau en bout.)	271,15	254,32	237,18
<b>Foyer de type 4</b> (aucun des deux)	170,52	153,69	136,54
<b>Foyer de type 5</b> (moyen)	268,00	249,04	229,77

Le premier résultat marquant est que **le foyer qui bénéficie à la fois de l'arrêt de la consommation d'eau en bouteille et de l'arrêt de l'adoucissement individuel** (première ligne du tableau) **enregistre, comme anticipé, les économies les plus importantes**, pouvant atteindre jusqu'à environ 930 €/an (dureté finale de 8 °f). Lorsque la dureté finale est plus élevée (12 °f), ces économies restent conséquentes mais s'amenuisent (environ 860 €/an). Ces économies sont de l'ordre du budget alimentaire moyen d'un foyer avec un couple et 4 enfants<sup>31</sup>. Ce résultat s'explique **par la complémentarité des effets de ces deux changements de comportement**. D'une part, l'arrêt de l'achat d'eau en bouteille conduit à une réduction immédiate et directe d'un poste de dépenses non négligeable. D'autre part, l'arrêt de l'adoucissement individuel permet de supprimer des coûts liés à l'entretien et au remplacement des matières premières nécessaires au fonctionnement de l'adoucisseur, qui sont relativement élevés. **La combinaison des deux mesures produit ainsi un effet d'addition des économies**, particulièrement visible quand la dureté finale de l'eau est la plus faible (8 °f).

<sup>31</sup> [https://coursesplanner.app/blog/budget\\_alimentaire\\_2024](https://coursesplanner.app/blog/budget_alimentaire_2024)

Un autre constat notable mais tout aussi prévisible est **l'effet intermédiaire pour les foyers ne bénéficiant que d'un des deux avantages**. Par exemple, les foyers arrêtant **uniquement la consommation d'eau en bouteille** (troisième ligne) réalisent des gains moyens (entre 240 et 270 €/an en fonction de la dureté résiduelle). De manière similaire, ceux ne bénéficiant **que de l'arrêt de l'adoucisseur** (deuxième ligne) se situent dans **une fourchette un plus élevée** (entre 760 et 830 €/an). La différence significative entre ces deux catégories s'explique par **les coûts plus importants associés à l'utilisation d'un adoucisseur individuel qu'à l'achat de bouteille d'eau**, ce qui est cohérent avec les impacts de l'arrêt de l'adoucissement individuel et l'arrêt de la consommation d'eau en bouteille détaillés dans la partie précédente. **Les économies les plus faibles concernent logiquement les foyers qui ne bénéficient d'aucune des deux optimisations** (quatrième ligne) : l'ordre de grandeur y varie de 140 à 170 €/an, selon la dureté finale.

Il est intéressant de remarquer que **le foyer moyen** (cinquième ligne) **a des bénéfices équivalents au foyer qui bénéficie uniquement de l'arrêt de la consommation d'eau en bouteille**. En effet, le foyer « théorique » qui reçoit la redistribution « équitable » obtient des bénéfices intermédiaires, oscillant entre 230 et 270 €/an, ce qui correspond plutôt au budget alimentaire mensuel d'un foyer d'une seule personne<sup>32</sup>.

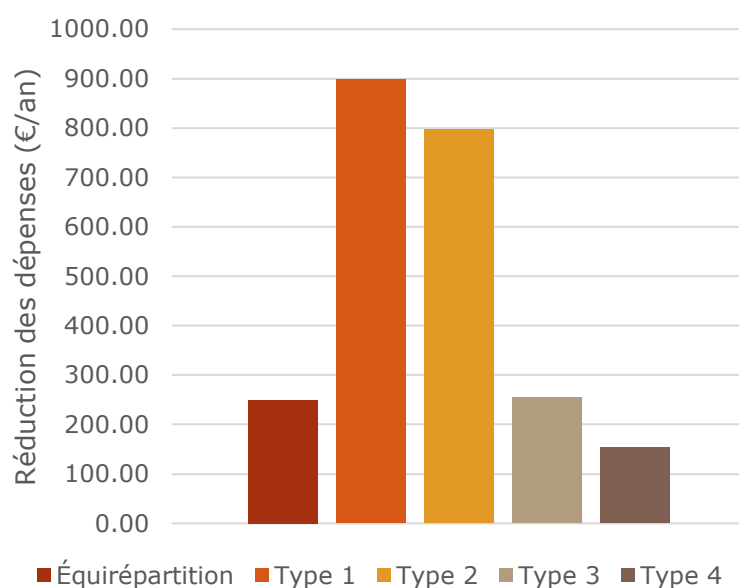
En somme, **les économies sont significativement plus importantes pour les foyers qui modifient leur comportement** (arrêt de l'eau en bouteille et/ou de l'adoucissement individuel). **Les écarts entre ces cinq profils mettent en lumière l'importance de la situation initiale et des choix de consommation des foyers dans les bénéfices réels que les foyers vont pouvoir en tirer**. En effet, si un foyer ne possède pas d'adoucisseur avant l'implémentation du projet du SEDIF, il ne peut pas bénéficier de la réduction des dépenses générées par l'arrêt de l'utilisation de celui-ci, ou bien un foyer qui n'achète déjà pas de l'eau en bouteille ne peut pas bénéficier. Inversement, un foyer qui utilise un adoucisseur individuel ou qui achète beaucoup d'eau en bouteille peut aussi continuer à le faire même après l'implémentation du projet du SEDIF, celui-ci ne donnant qu'une incitation à changer de comportement. Ces situations différentes se cachant derrière des foyers du même type sont justement détaillées dans l'annexe *A20. LES PROFILS SOCIOLOGIQUES COMPATIBLES AVEC LES DIFFÉRENTS TYPES DE FOYERS*.

---

<sup>32</sup> Issue du même site que précédemment mais d'un autre article, toujours fondé sur les données INSEE des revenus annuels et des parts des revenus alloués à la consommation alimentaire  
[https://www.coursesplanner.app/blog/budget\\_courses\\_une\\_seule\\_personne\\_2024](https://www.coursesplanner.app/blog/budget_courses_une_seule_personne_2024)

Cette représentation permet aussi de bien comparer la réduction des dépenses pour les différents types de foyer.

Figure 20. Comparaison de la réduction des dépenses par type de foyer



### Détail pour un foyer moyen

Les deux premières sous-parties de l'analyse des résultats se concentrant sur les résultats globaux, nous n'avons pas encore présenté **la réduction des dépenses dont bénéficie un foyer moyen**, ni **son détail par vecteur d'impact**. Le tableau suivant résume ces données.

Tableau 32. Réduction des dépenses pour un foyer moyen, par vecteur d'impact (Configuration 1 : 1,8M de foyers), pour les 3 duretés finales possibles

€/an	Dureté finale de 8°f	Dureté finale de 10°f	Dureté finale de 12°f
<b>Via les produits d'entretien</b>	103,65	94,02	84,39
<b>Via l'énergie</b>	42,25	38,27	33,98
<b>Via la durée de vie</b>	24,62	21,40	18,18
<b>Via l'adoucissement</b>	72,88	70,76	68,64
<b>Via l'eau en bouteille</b>	24,60	24,60	24,60
<b>TOTAL</b>	<b>268,00</b>	<b>249,04</b>	<b>229,77</b>

En premier lieu, il est intéressant de noter que **ces économies annuelles ne sont pas négligeables**. 270€ d'économies correspond à environ **3 mois d'abonnement mensuel Navigo**<sup>33</sup> ou bien à **3 pleins d'essence d'une voiture avec un réservoir de 50L**<sup>34</sup>. En second lieu, **notre analyse de l'importance des différents vecteurs d'impact dans la réduction des dépenses à l'échelle globale tient toujours ici**, ce qui est cohérent avec le fait que les résultats globaux analysés plus tôt sont fondés sur le foyer moyen. Nous retrouvons en effet les parts de chacun des vecteurs d'impact : les deux vecteurs d'impact qui participent le plus à la réduction des dépenses sont **la baisse de la consommation de produit d'entretien (38%)**, valable pour tout type de foyer, et **l'arrêt de l'adoucissement individuel (28%)**, impact dont on sait qu'il peut varier selon le type de foyer.

## Réduction des émissions de GES

### Comparaison des différents types de foyer

Le tableau suivant présente l'évolution de la réduction des émissions de GES pour les cinq types de foyers et les trois niveaux de dureté finale de l'eau.

Tableau 33. Réduction des émissions de GES pour un foyer, par type de foyer et par dureté finale

kgCO <sub>2</sub> éq/an	Dureté finale de 8°f	Dureté finale de 10°f	Dureté finale de 12°f
<b>Foyer de type 1</b> (les deux)	203,1	190,9	178,5
<b>Foyer de type 2</b> (adouciss.)	122,5	110,3	97,9
<b>Foyer de type 3</b> (eau en bout.)	133,7	128,2	122,6
<b>Foyer de type 4</b> (aucun des deux)	53,1	47,6	42,0
<b>Foyer de type 5</b> (moyen)	80,4	74,2	67,8

<sup>33</sup> L'abonnement mensuel au Navigo coûte 88,80€ par mois

<https://www.iledefrance-mobilites.fr/titres-et-tarifs/detail/forfait-navigo-mois>

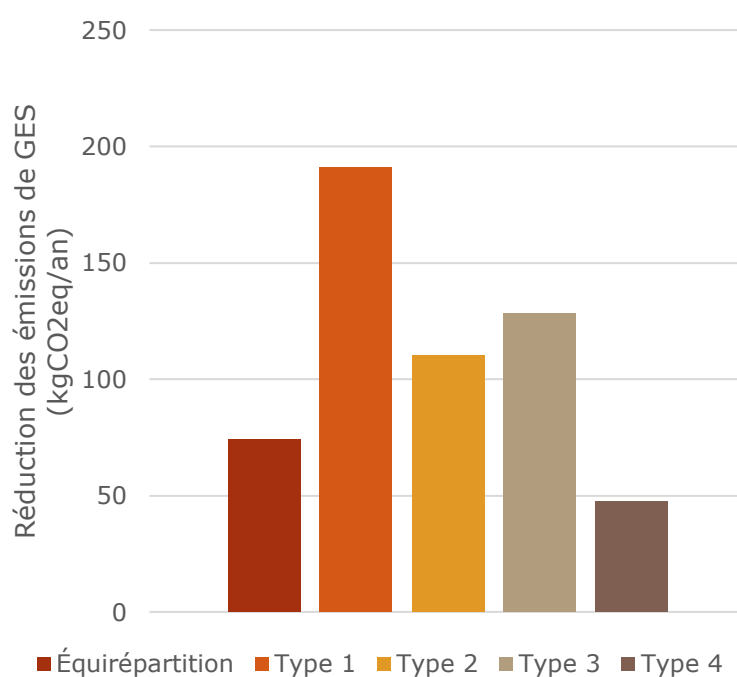
<sup>34</sup> Les carburants pour voiture thermique coûte environ 1,80€/L en IDF, ce qui donne 90€ le plein de 50L : <https://www.prix-carburants.gouv.fr/recherche/>

L'analyse de ce tableau est très proche de ce que nous avons constaté précédemment pour les dépenses, mais il est intéressant de noter que **les écarts entre les différents types de foyers sont moins grands dans le cas des émissions de GES que dans le cas des dépenses**. En effet, dans le cas des dépenses, les bénéficiaires du foyer de type 4 sont compris entre 18% et 15% des bénéficiaires du foyer de type 1 tandis que concernant les émissions de GES, les bénéficiaires du foyer de type 4 valent environ 25% (1/4) des bénéficiaires du foyer de type 1. Cela est très probablement dû au fait **le vecteur d'impact qu'est l'arrêt de l'adoucissement individuel a un impact financier beaucoup plus significatif que les autres vecteurs d'impact** (notamment que l'autre variable de notre typologie de foyer, le vecteur de la consommation d'eau en bouteille), **mais que son impact carbone est beaucoup moins différent de l'impact carbone des autres vecteurs**. Cela se vérifie par le fait qu'être un foyer de type 2 ou un foyer de type 3, c'est-à-dire de bénéficier uniquement de la réduction des émissions de GES de l'arrêt de l'adoucissement individuel ou de l'arrêt de la consommation d'eau en bouteille revient à peu près aux mêmes bénéficiaires pour la réduction des émissions de GES.

Une autre différence avec la réduction des dépenses est que **le foyer moyen bénéficie d'une réduction des émissions de GES vraiment inférieure à celle des deux foyers intermédiaires** (type 2 et type 3).

La représentation suivante permet aussi de bien comparer la réduction des émissions de GES pour les différents types de foyer.

Figure 21. Comparaison de la réduction des émissions de GES par type de foyer



## Détail pour un foyer moyen

Ci-après le tableau qui détaille la réduction des émissions de GES par vecteur d'impact pour un foyer moyen.

kgCO <sub>2</sub> éq/an	Dureté finale de 8°f	Dureté finale de 10°f	Dureté finale de 12°f
<b>Via les produits d'entretien</b>	17,2	15,8	14,5
<b>Via l'énergie</b>	19,6	17,1	14,5
<b>Via la durée de vie</b>	16,3	14,7	13,0
<b>Via l'adoucissement</b>	7,6	6,9	6,2
<b>Via l'eau en bouteille</b>	19,7	19,7	19,7
<b>TOTAL</b>	<b>80,4</b>	<b>74,2</b>	<b>67,8</b>

De même que précédemment, **ces réductions d'émissions de GES ne sont pas négligeables**. 74 kg de CO<sub>2</sub> équivalent correspond à 740 kilomètres parcourus en voiture thermique<sup>35</sup>, soit environ **un aller de Paris jusqu'à Marseille** en voiture thermique, ou bien à ce que peuvent absorber 3 arbres pendant un an<sup>36</sup>. On retrouve aussi la même répartition de la réduction des émissions de GES par vecteur d'impact que dans l'analyse globale. Les quatre vecteurs d'impact les plus importants, qui se partagent presque à parts égales (entre ¼ et 1/5 chacun) toute la réduction des émissions de GES, sont assez logiquement **l'arrêt de la consommation d'eau en bouteille (27%), la réduction de la consommation énergétique (23%), la réduction de la consommation de produits détergents (21%)** et enfin **l'augmentation de la durée de vie (20%)**.

Derrière la seconde position en importance de la réduction de la consommation énergétique se cache une **économie d'énergie d'environ 111 kWh par an pour un foyer moyen** (ce qui équivaut à 200 cycles de lave-linge et 7400 recharges de smartphone de 3h).

<sup>35</sup> (même référence que précédemment) Une voiture thermique émet en moyenne 100 g de CO<sub>2</sub>éq par km :

<https://carlabelling.ademe.fr/chiffrescles/r/moyenneEmissionCo2Gamme>

<sup>36</sup> Un arbre absorbe environ 25 kgCO<sub>2</sub>éq par an : <https://ecotree.green/combien-de-co2-absorbe-un-arbre>



## 5 RENTABILITÉ DU PROJET ET COMPARAISON SURCÔÛTS-BÉNÉFICES POUR LES USGERS

Jusqu'à présent nous avons présenté les **bénéfices bruts** pour les usagers, c'est-à-dire sans prendre en compte le surcoût potentiel associé à l'implémentation de ce projet. Cependant, le projet d'installation d'un nouveau traitement membranaire permettant la réduction de la dureté de l'eau nécessite des **investissements importants**, comme des travaux de raccordement électriques ou bien les nouvelles membranes en elles-mêmes. **Ces coûts seront supportés en partie par les usagers** au travers de la facture d'eau. **En faisant l'hypothèse que le coût de ce projet est entièrement répercuté aux usagers, le surcoût généré par le projet efface-t-il totalement les gains financiers générés par la réduction de l'eau ?** Autrement dit, en faisant l'hypothèse la plus désavantageuse, le projet a-t-il toujours un impact financier positif sur les usagers ?

Avec un coût total d'investissement (**CAPEX**) estimé à **976 millions d'euros**, ce projet est un projet de développement d'une grande infrastructure publique. Cet investissement, bien que conséquent, s'accompagne de bénéfices financiers tangibles pour les usagers, tels que nous les avons décrits dans la partie précédente.

Les nouvelles installations auront une **durée d'amortissement estimée à 40 ans**. L'investissement initial total réparti sur ces 40 années (**24,4M€/an**), les coûts d'exploitation et de financement génèrent **un surcoût d'environ 0,40€/m<sup>3</sup>** d'eau produit. Cette augmentation modérée, bien que perceptible pour les usagers si elle était effectivement transférée dans le prix de l'eau, reste largement compensée par les gains économiques générés par le projet.

Tableau 34. Balance coûts-bénéfices pour un foyer moyen du territoire desservi par le SEDIF, pour la dureté finale de 10°f

	Gains	Surcoût	Balance
<b>Dépenses (€/an)</b>	249,04	-45,96	<b>203,08</b>
<b>Consommation énergétique (kWh/an)</b>	111	-40	<b>71</b>

Ainsi, le surcoût généré par l'investissement important est **largement couvert par les bénéfices** qui résulteraient de l'investissement pour les usagers : **les usagers du SEDIF seraient gagnants**, même lorsqu'on prend en compte les coûts supplémentaires et qu'on ne calcule pas seulement les gains.

# CONCLUSION

## 1 LES POINTS CLÉS EN 1 PAGE

Selon nous, les éléments suivants sont les plus **importants à retenir** de notre étude.

**Les 8 chiffres à retenir** (pour 4M d'usagers i.e. 1,8M de foyers):

- Impact pour un **foyer moyen** du territoire (2,27 personnes/foyer)
  - 249€ d'économisés par an (hors surcoût, 203€ avec celui-ci)
  - 74,2 kgCO<sub>2</sub>eq d'émissions GES évitées par an
  - 1 kg de plastique évité par an
  - 111 kWh économisés par an
- Impact pour **tout le territoire**
  - 436 millions d'euros d'économie par an (nettes : 412)
  - 130 kilos-tonnes d'émissions GES évitées par an
  - 1 983 tonnes de plastique évitées par an
  - 195M de kWh économisés par an

**Les 2 vecteurs les plus importants :**

- Pour la **réduction des dépenses** : la consommation de produits détergents et l'arrêt de l'adoucissement individuel
- Pour la **réduction des émissions de GES** : l'arrêt de la consommation d'eau en bouteille et la consommation de produits détergents

**Les 4 idées à retenir de la comparaison avec les résultats précédents :**

- Les impacts sont globalement revus à la hausse
- Mais très bien expliqués par les nouveautés méthodologiques
- Une sensibilité des résultats à la dureté finale de l'eau pas plus forte et au contraire plus stable
- L'hypothèse de linéarité est mieux respectée

**Les 3 axes majeurs d'amélioration de notre étude :**

- Une **meilleure exploitation** des données scientifiques disponibles,
- La prise en compte de la **diversité** et de la **complexité** des catégories d'appareils ménagers sur lesquels reposent toute l'étude,
- De **nouvelles équations** pour les **impacts spécifiques** qui permettent de facilement évaluer les impacts **pour différents types de foyer**

## 2 SYNTHÈSE

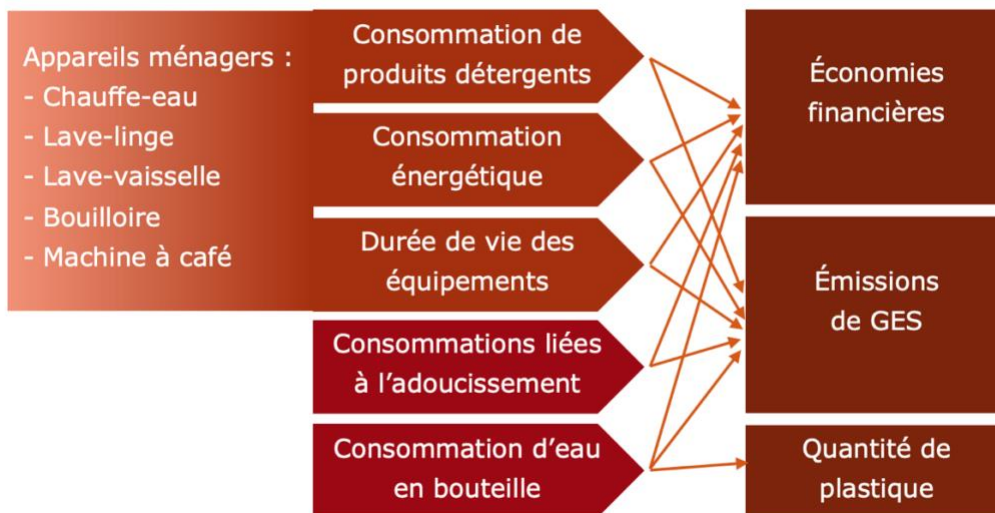
### Notre méthodologie

Nous nous plaçons :

- dans le cadre d'une **analyse du cycle de vie**,
- focalisée sur la **phase d'usage** du produit, ici l'eau potable,
- focalisée aussi sur certains types d'usage : surtout **domestiques**
- et sur les impacts **environnementaux** et **économiques** ;
- l'analyse est réalisée pour l'eau de **3 usines**, dans **2 configurations** de desserte des usagers possibles.

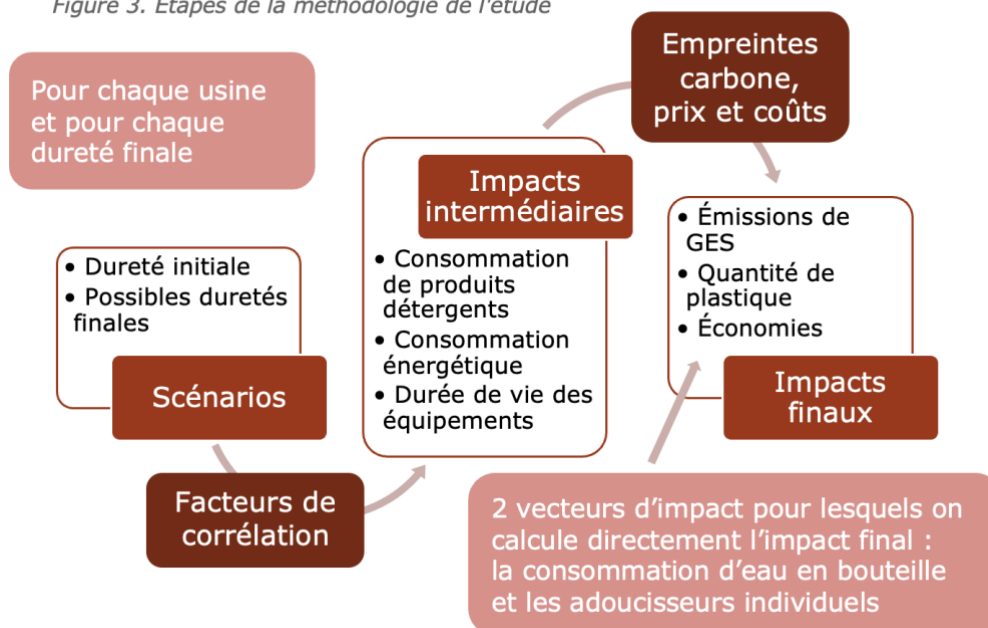
Nous évaluons les impacts suivants ...

Figure 4. Structure des impacts considérés



En suivant ce cheminement :

Figure 3. Étapes de la méthodologie de l'étude



L'étape cruciale de cette méthodologie est le **calcul des facteurs de corrélation** entre la dureté de l'eau et les différents impacts intermédiaires. Les **équations de régression linéaire** que nous obtenons donnent les quantités de produits détergents, de consommation énergétique et de durée de vie suivantes pour 10°f de dureté finale.

Tableau 35. Valeurs absolues de la durée de vie, de la consommation énergétique et de la consommation de produits détergents pour une dureté de 10°f

Appareil ménager	Durée de vie	Consommation énergétique	Consommation de produits détergents
<b>Chauffe-eau</b>	6,25 ans (au lieu de 4,8 en moyenne aujourd'hui)	1906 kWh/an	5 kg/an (savon corporel)
<b>Lave-linge</b>	16 ans	689 kWh/an	33 kg/an
<b>Lave-vaisselle</b>	16 ans	236 kWh/an	0 kg/an (rupture de pente à 14,5°f)
<b>Bouilloire</b>	12,8 ans	51,8 kWh/an	0,41 kg/an
<b>Machine à café</b>	12,8 ans	75,1 kWh/an	0,61 kg/an

## Nos résultats

A 10°f de dureté finale, les impacts du projet du SEDIF (les deltas avant/après implémentation) sont les suivants.

Tableau 36. Impacts intermédiaires de la réduction de la dureté de l'eau à 10°f, pour un foyer moyen

IMPACT INTERMÉDIAIRE	Durée de vie	Consommation énergétique	Consommation de produits détergents
<b>Chauffe-eau</b>	2,0 ans	58,6 kWh/an	1,2 kg/an (savon)
<b>Lave-linge</b>	3,2 ans	39,0 kWh/an	7,7 kg/an
<b>Lave-vaisselle</b>	3,2 ans	6,9 kWh/an	4,6 kg/an
<b>Bouilloire</b>	2,6 ans	2,8 kWh/an	0,5 kg/an
<b>Machine à café</b>	2,6 ans	4,1 kWh/an	0,7 kg/an

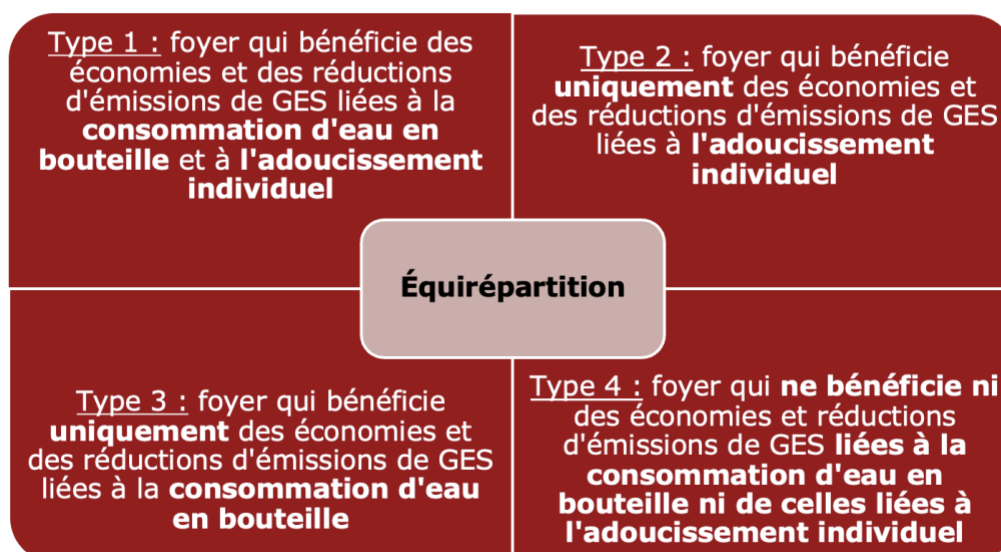
Les **deux autres impacts intermédiaires**, que sont l'arrêt de la consommation d'eau en bouteille et l'arrêt de l'adoucissement individuel **diffèrent selon si le foyer fait partie de ceux qui arrêtent l'un ou pas**. Nous avons les impacts suivants

Tableau 37. Impacts intermédiaires spécifiques de la réduction de la dureté de l'eau à 10°f, pour un foyer qui en bénéficie directement et pour un foyer moyen

IMPACT INTERMÉDIAIRE	La consommation d'eau en bouteille	L'adoucissement individuel
<b>Réduction des dépenses (€/an)</b>		
Pour un foyer qui arrête complètement ...	100,6	643,3
Pour un foyer moyen après équi-répartition de la réduction totale	<b>24,6</b>	<b>70,8</b>
<b>Réduction des émissions de GES (kgCO<sub>2</sub>eq/an)</b>		
Pour un foyer qui arrête complètement ...	80,6	62,7
Pour un foyer moyen après équi-répartition de la réduction totale	<b>19,7</b>	<b>6,9</b>

Grâce à ces impacts intermédiaires spécifiques, nous pouvons **construire une typologie de 5 foyers différents**, selon s'ils bénéficient ou non de la réduction des dépenses et de la réduction des émissions de GES associées à l'arrêt de l'adoucissement individuel, et/ou à l'arrêt de la consommation d'eau en bouteille, ou bien à aucun des deux ou à une équi-répartition de ceux-ci.

Figure 6. Matrice des 5 types de foyers différents



Sur le changement de comportement des usagers, nous faisons l'hypothèse que **24,4% des personnes, et donc des foyers** (un foyer moyen correspondant à 2,27 personnes) **arrêtent de consommer de l'eau en bouteille avec la mise en œuvre du projet du SEDIF** (hypothèse forte). Dans la première configuration qui comprend 4M d'usagers, cela correspond à 1,8M d'usagers qui changent de comportement, et à 793 000 foyers. Les données du CIEAU nous permettent aussi de faire l'hypothèse (plus fiable) qu'11% des foyers possèdent un adoucisseur, soit environ 193 000 foyers dans la Config 1.

On obtient alors les **impacts finaux** suivants pour une dureté finale de 10°f (ce sont toujours les deltas avant/après implémentation du projet du SEDIF), ici déclinés pour un foyer et par type de foyer ...

Tableau 38. Impacts finaux de la réduction de la dureté de l'eau à 10°f, selon le type de foyer

<b>IMPACT FINAL</b>	<b>Réduction des dépenses</b>	<b>Réduction des émissions de GES</b>
<b>Foyer de type 1</b> (les deux)	897,59	190,9
<b>Foyer de type 2</b> (adouciss.)	796,96	110,3
<b>Foyer de type 3</b> (eau en bout.)	254,32	128,2
<b>Foyer de type 4</b> (aucun des deux)	153,69	47,6
<b>Foyer de type 5</b> (moyen)	<b>249,04</b>	<b>74,2</b>

... et ici déclinés pour l'ensemble du territoire desservi par le SEDIF, pour 4M d'usagers i.e. 1,8M de foyers dans la Configuration 1.

Tableau 39. Impacts finaux de la réduction de la dureté de l'eau à 10°f pour l'ensemble des territoires du SEDIF

	<b>Dureté finale 10°f</b>
<b>Réduction des dépenses</b> (M€/an) <sup>37</sup>	436
<b>Réduction des émissions de GES</b> (ktCO <sub>2</sub> eq/an) <sup>38</sup>	130
<b>Réduction de la production de plastique</b> (t/an)	1 983

<sup>37</sup> M€ signifie millions d'euros : 1 M€ = 10<sup>6</sup> € = 1 000 000 €

<sup>38</sup> Kt signifie kilo tonnes : 1 kt = 1000 t = 1 000 000 kg de CO<sub>2</sub> équivalent

### 3 PISTES D'AMÉLIORATION : RECOMMANDATIONS POUR DE FUTURES ÉTUDES

L'évaluation de l'impact environnemental et économique de la nouvelle technologie de traitement de l'eau constitue une étape importante pour mieux comprendre les bénéfices et limites de son déploiement. Cependant, comme toute recherche, **cette étude peut être enrichie** en intégrant des éléments complémentaires et en affinant certains aspects méthodologiques. Les **pistes d'amélioration** présentées ici ne remettent pas en cause la qualité du travail réalisé mais visent à ouvrir **des perspectives constructives** pour des **études futures**.

#### **Une analyse complète du cycle de vie**

L'un des apports les plus prometteurs pour de futures études résiderait dans **une analyse plus complète du cycle de vie de la technologie étudiée**. À l'heure actuelle, le modèle s'attache essentiellement à la phase d'usage, c'est-à-dire à l'impact de la technologie sur les modes de consommation et d'utilisation de l'eau par les usagers. Cette approche est pertinente mais pourrait être complétée par l'ajout d'autres phases clés :

- **La phase de mise en œuvre** : *Envisager l'impact des travaux nécessaires à l'installation des technologies membranaires dans les infrastructures existantes.*
- **La phase de production** : *Évaluer les gains potentiels en termes d'efficacité des usines, notamment en réduisant les pertes d'eau et en améliorant le ratio entre l'eau desservie et l'eau prélevée.*
- **La phase de fin de vie** : *Analyser les effets liés au traitement des eaux usées, en mettant en avant les avantages environnementaux possibles, comme la diminution de l'utilisation de produits d'entretien grâce à l'adoucissement de l'eau.*

Ces ajouts permettraient **d'intégrer de nouveaux indicateurs environnementaux**, comme la quantité d'eau prélevée et rejetée, la qualité des rejets (notamment en termes de pollution chimique et de microplastiques), et l'efficacité énergétique globale du projet. En s'appuyant sur des **méthodologies reconnues**, comme celles des initiatives SBTI et SBTN, et en collaborant avec des cabinets spécialisés, ces analyses pourraient être menées de manière rigoureuse.



## Limites et évolutions du modèle actuel

Le modèle utilisé dans l'étude présente une **architecture robuste**, mais certaines limitations méthodologiques et conceptuelles peuvent être relevées pour guider son amélioration :

1. **Une segmentation insuffisante des usagers** : Les catégories d'usagers (ménages, professionnels, collectivités, gestionnaires d'immeubles) apparaissent trop générales ou peu adaptées à certains contextes. Par exemple, les professionnels, qui représentent près d'un cinquième des usagers, ne sont pas suffisamment intégrés en raison d'un manque de données spécifiques. Il serait pertinent de définir des **profils types** (personas) pour chaque catégorie et pas seulement pour les particuliers, en précisant leurs postes de consommation spécifiques.
2. **Une approche top-down perfectible** : La méthodologie actuelle repose sur une répartition globale des volumes d'eau, répartis selon des proportions estimées a priori. Une approche inverse, dite **bottom-up**, consisterait à construire chaque brique de données (par exemple, les postes de consommation) avant de les agréger, ce qui garantirait une meilleure précision et un plus grand réalisme de l'estimation des impacts.
3. **Une granularité à renforcer** : Une meilleure décomposition des impacts (carbone, plastique, dépenses) permettrait une analyse plus fine. Par exemple, distinguer les impacts des appareils entre leurs phases de fabrication et d'utilisation, ou intégrer des informations spécifiques sur les produits détergents et leur empreinte environnementale.

Ces évolutions offriraient une vision plus précise et exhaustive des impacts environnementaux et économiques associés à cette technologie.

## Une collecte de données à intensifier

Les limites méthodologiques identifiées dans le modèle tiennent en partie à **l'absence de données spécifiques et actualisées**. Pour combler ces lacunes, plusieurs pistes pourraient être envisagées :

- **Affiner les données sur les volumes d'eau** : Le SEDIF pourrait améliorer la collecte et le suivi des données liées à la répartition des volumes desservis par catégorie d'usagers. Cela nécessiterait également une **clarification des nomenclatures utilisées**, en s'appuyant sur des standards établis, comme ceux de l'INSEE par exemple.



- **Réaliser de nouvelles enquêtes** : Actualiser des études existantes, comme l'étude danoise de 2012 sur l'impact de la dureté de l'eau, offrirait des informations cruciales sur la durée de vie des appareils, leur consommation énergétique et l'utilisation des détergents. Ces enquêtes, combinant des interviews et des observations directes, permettraient de mieux comprendre les comportements des différents types d'utilisateurs et leurs besoins spécifiques.
- **Collaborer avec des partenaires spécialisés** : Le SEDIF pourrait s'associer à des laboratoires de recherche ou des cabinets d'études pour produire des données plus précises et pertinentes.

En renforçant la collecte et l'exploitation des données, il serait possible d'établir des bases solides pour des études ultérieures, tout en répondant aux attentes croissantes en matière de transparence et de fiabilité.

## Une vision systémique et prospective

Enfin, il serait intéressant d'élargir la portée des analyses en intégrant des perspectives systémiques. Par exemple, **examiner les implications à long terme de la technologie sur les comportements des usagers, les pratiques industrielles et la gestion des ressources** pourrait révéler des impacts indirects mais significatifs.

## Conclusion

Cette étude a permis de jeter les bases d'une réflexion approfondie sur les impacts environnementaux et économiques d'une nouvelle technologie de traitement de l'eau. Les recommandations et critiques présentées ici visent à enrichir les recherches futures, en ouvrant des pistes pour des analyses plus complètes, rigoureuses et pertinentes. En combinant une collecte de données renforcée, une méthodologie affinée et une approche systémique, les prochaines études pourront non seulement répondre aux défis identifiés mais aussi proposer des solutions innovantes pour une gestion durable des ressources en eau. Ce regard optimiste et constructif invite à poursuivre les efforts et à collaborer pour mieux comprendre et valoriser les technologies au service de l'environnement et des usagers.

# ANNEXES

## A0. LIMITES DES ÉTUDES PRÉCÉDENTES

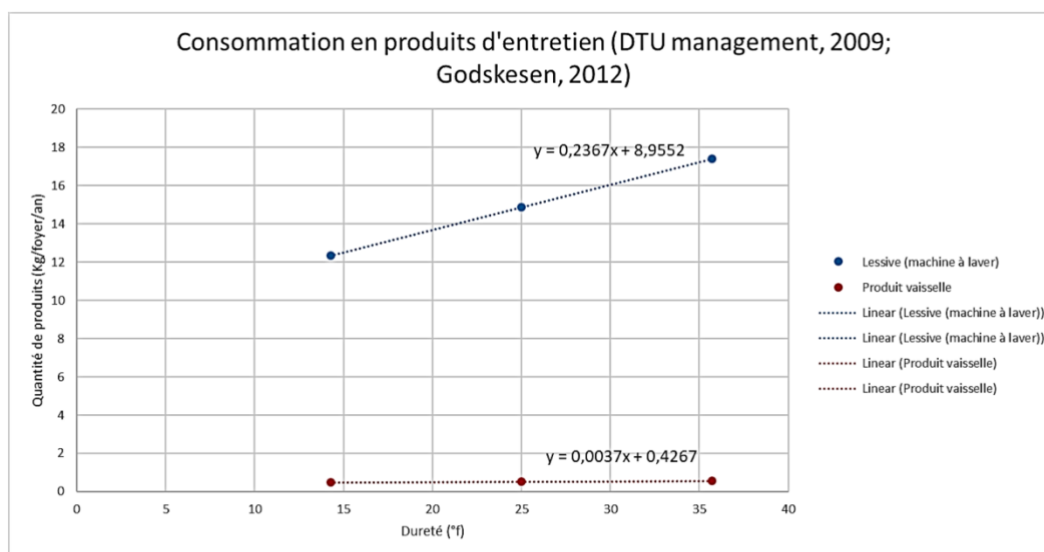
Nous tenons tout d'abord à souligner le travail colossal et de très grande qualité qui a été effectué par Deloitte et IRH d'abord, puis par In Extenso et qui sert aujourd'hui de fondements à notre étude. Nous avons cependant remarqué quelques pistes d'amélioration.

### **L'extrapolation des données pour les facteurs de corrélation : quelques erreurs de conversion**

Dans son bilan, In Extenso utilise **l'étude scientifique la plus récente** des effets d'un adoucissement centralisé, par opposition à individuel, de l'eau très dure sur les consommateurs finaux (Godskesen, et al., 2012), pour calculer ses « données d'impact ». Cette étude, réalisée par l'Université Technique du Danemark, utilise la méthodologie de l'ACV afin de quantifier **les impacts environnementaux de l'adoucissement centralisé de l'eau potable de la ville de Copenhague**. Cette étude est la seule, à notre connaissance à fournir des données expérimentales qui permettent de **quantifier la corrélation entre la consommation énergétique, la consommation en produits détergents et la durée de vie des équipements des ménages ; et la dureté de l'eau**.

Les données de l'étude étant des données sur des particuliers danois, il est nécessaire de modifier les données pour les **convertir pour un ménage français type**. C'est dans cette conversion que quelques erreurs semblent s'être glissées. En effet, en comparant les données initiales de l'étude et celles présentées par In Extenso dans son Annexe 3 (Données d'impact et hypothèses employées), les secondes ne correspondent au résultat attendu une fois la conversion annoncée par In Extenso effectuée.

Figure 22. Exemple de conversion des données danoises en données françaises par In Extenso, consommation de produits d'entretien (page 69)



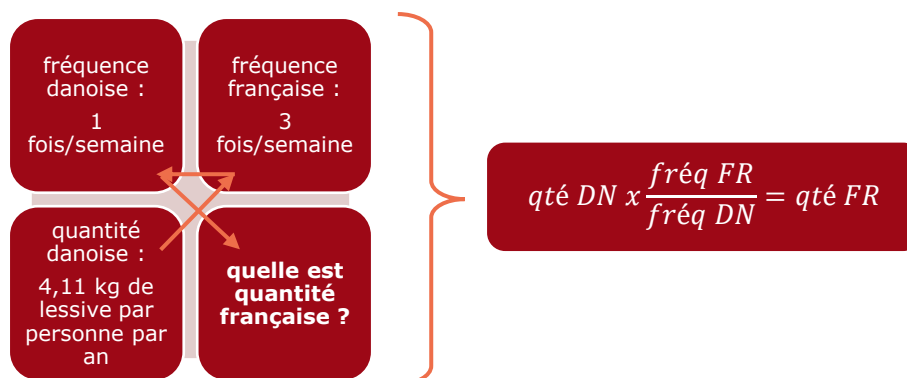
L'étude a été réalisée au Pays-Bas, les hypothèses de calcul étaient donc spécifiques aux pratiques de ce pays. Par exemple ils ont estimé que les usagers utilisent le lave-linge et le lave-vaisselle à une fréquence d'1 fois/semaine, ce qui n'est pas le cas en France. Nous avons donc extrapolé à la France 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.

Prenons **l'exemple des données de consommation de produits d'entretien** : l'étude danoise a relevé que pour une dureté de 14,5°f, les habitants de Copenhague consomment en moyenne 4,11 kg de lessive par an et par personne. In Extenso annonce **extrapoler les données danoises en utilisant les fréquences d'utilisation françaises**, qui est de 3 fois par semaine pour le lave-linge, et multiplie donc la donnée danoise par 3, ce qui lui donne une consommation d'un peu plus de 12 kg de lessive pour une dureté de 14,5°f. La première remarque est que **ce raisonnement est en fait incomplet** : si l'on veut convertir les données danoises en données françaises, il faut multiplier par le rapport de la fréquence d'utilisation française sur la fréquence d'utilisation danoise pour appliquer le **principe de proportionnalité**.

Tableau 40. Extrait de la table 1 de l'article (Godskesen, et al., 2012)

Washing machine				
Service life (y)	10	12.5	15	(Naturstyrelsen, 2011)
Energy, use stage (MJ/p/y)	312	299	286	(Wupti, 2009) <sup>c</sup>
Laundry detergent (kg/p/y)	5.8	4.96	4.11	(Andreasen and Stubsgaard, 2002)

Équation 12. Produit en croix : des données danoises aux données françaises



La seconde remarque est peut-être plus importante encore. In Extenso écrit que ses données converties valent pour **un foyer français moyen**, or les données initiales sont pour une seule personne. Ainsi, si l'on s'arrête à l'étape précédente, sans **multiplier les données danoises par le nombre moyen de personne par foyer**, les données obtenues sont des quantités par personne par an. Ces erreurs peuvent sembler anodines, cependant elles faussent les données sur lesquelles les régressions linéaires sont appliquées et **sous-estiment le calcul des facteurs de corrélation** qui sont à la base de toute l'évaluation d'impact.

## Les impacts environnementaux considérés : focus presque uniquement sur le carbone

A première vue, les études précédentes semblent prendre en compte de très nombreux impacts environnementaux différents. Cependant, il semble y avoir eu quelques confusions sur le **concept d'impact environnemental**, ou du moins un élargissement un peu abusif de sa définition. Pour affirmer cela, nous nous fondons sur les recommandations de la communauté scientifique adressées aux entreprises et aux décideurs<sup>39</sup>, les différentes méthodologies d'évaluation de l'impact environnemental établis par des experts<sup>40</sup> et les ressources de l'ADEME<sup>41</sup>.

<sup>39</sup> Résumés à l'intention des décideurs des derniers rapports du GIEC (IPCC) et de son équivalent pour la biodiversité (IPBES) : (IPCC, 2023) et (IPBES, 2019).

<sup>40</sup> Publications du réseau *Science Based Targets Network* qui reprend, appliquée à la biodiversité, la démarche de *Science Based Targets Initiative*, focalisée sur le climat : (SBTN, May 2023).

<sup>41</sup> ADEME : Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie

L'ADEME définit par exemple l'impact environnemental comme **l'ensemble des modifications qualitatives, quantitatives et fonctionnelles de l'environnement (négatives ou positives) engendrées par un projet, un processus, un procédé, un ou des organismes et un ou des produits, de sa conception à sa fin de vie.**

Ainsi les émissions de GES<sup>42</sup>, la pollution chimique de l'air et de l'eau, la destruction de zones riches en biodiversité mais aussi le simple prélèvement d'eau dans un bassin hydrographique sont des impacts environnementaux en tant qu'ils modifient les données physico-chimiques de l'environnement. A l'inverse, **la consommation énergétique, la consommation de produits d'entretien et la durée de vie des appareils ménagers**, qui sont comptabilisés dans le bilan d'In Extenso comme des impacts environnementaux, **n'en sont pas**. Ce sont certes les vecteurs par lesquels nous pouvons quantifier les impacts environnementaux, d'où le fait que, comme expliqué dans la partie précédente nous les nommons « **impacts intermédiaires** », mais ce ne sont pas des impacts environnementaux en tant que tels.

Dès lors, il apparaît qu'**un seul type** d'impact environnemental est véritablement pris en compte dans les précédentes études : les **émissions de GES**, autrement dit l'impact carbone. Or, pour une étude dont finalement l'objet principal est **l'eau**, il semble problématique de passer à côté des **impacts environnementaux directement liés** à cette ressource et source de biodiversité si précieuse. La mesure de **l'eau consommée** (différence entre l'eau prélevée et l'eau rejetée), la mesure de la **pollution chimique de l'eau** rejetée par les usines mais aussi par les ménages et la mesure de **l'eutrophisation** et de **l'acidification** des bassins attenants aux usines seraient par exemple des indicateurs d'impact environnemental très importants à intégrer à l'analyse et à suivre pour le SEDIF à long terme. Nous reconnaissons cependant que **ces indicateurs d'impact semblent plus pertinents pour l'analyse d'autres phases du cycle de vie** que pour l'analyse de la phase d'usage. Cela dit, ni Deloitte et IRH, ni In Extenso n'expliquent pourquoi ils n'ont pas intégré ces indicateurs à leur analyse et l'absence de ceux-ci.

Enfin, In Extenso intègre quand même l'indicateur de la **quantité de plastique produite**, qui se retrouve ensuite dans l'environnement, à son analyse, avec cependant un calcul qui ne nous paraît pas suivre la meilleure logique possible avec les données disponibles. Notre critique de la formule utilisée par In Extenso est détaillée dans la sous-partie suivante, et notre manière d'y répondre est détaillée dans la sous-partie *Impacts de la consommation d'eau en bouteille*.

---

<sup>42</sup> GES : Gaz à Effets de Serre, émissions quantifiées en tonnes ou kg de CO<sub>2</sub> éq

## Le calcul des impacts intermédiaires et finaux : quelques incohérences de raisonnement.

### *Impact lié à la consommation d'eau en bouteille*

En effet, le calcul de l'impact lié à la **consommation d'eau en bouteille**, nous semble **erroné**. Il semble en effet y avoir deux confusions logiques. En premier lieu, **ce sont des pourcentages de volumes d'eau qui sont appliquées à des nombres d'habitants**, alors qu'il semblerait plus indiqué d'appliquer des parts de volumes d'eau à des volumes d'eau, ou des parts d'habitants à des nombres d'habitant. La deuxième confusion logique qui est opérée correspond au fait de **multiplier la production annuelle de plastique liée à la consommation d'eau en bouteille par des quantités calculées sur la consommation d'eau du robinet actuelle**. Il semblerait plus logique de multiplier la quantité de plastique liée à la consommation d'eau en bouteille par des quantités de consommation d'eau en bouteille. **L'idée est que les données provenant du SEDIF que nous avons sur la consommation d'eau du robinet ne sont absolument pas informatives sur la consommation d'eau en bouteille des territoires desservis**. On pourrait même imaginer une relation inverse : plus les territoires consomment de l'eau du robinet, moins les territoires consomment de l'eau en bouteille. Or, avec l'équation d'In Extenso ci-après, plus les territoires représentent une part importante de la consommation d'eau du robinet, plus ils auront un volume de déchets plastiques générés par l'achat de bouteilles d'eau important.

*Équation 13. Calcul de la quantité de plastique générée par l'achat de bouteilles d'eau, In Extenso (page 26)*

#### **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**

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

- **%C<sub>eau particuliers</sub>** : Part de Volume d'eau consommée par les particuliers de l'usine de Choisy-le-Roi (Tableau 4).
- **%C<sub>eau gestionnaires immeuble</sub>** : Part de Volume d'eau consommée par les particuliers de l'usine de Choisy-le-Roi (Tableau 4).

Le fait de chercher à calculer **le nombre de personnes qui peuvent changer de comportement avec l'installation des nouvelles membranes** (un nombre d'utilisateurs du SEDIF multiplié par le pourcentage de personnes susceptibles d'arrêter de consommer de l'eau en bouteille après décarbonatation) nous semble tout à fait juste, mais nous ne sommes pas d'accord avec ce avec quoi il est multiplié. Par ailleurs, **le calcul du pourcentage de personnes susceptibles d'arrêter de consommer de l'eau en bouteille nous semble aussi erroné**.

En effet, In Extenso aboutit au chiffre de **10,5% de personnes étant susceptibles d'arrêter d'acheter de l'eau en bouteille après réduction de la dureté de l'eau**, en utilisant les données de l'enquête nationale sur les Français et l'eau réalisée par le Centre d'Information sur l'Eau (CIEAU, 2022). Le raisonnement d'In Extenso consiste à **multiplier des pourcentages de Français qui déclarent différentes raisons de ne pas boire l'eau du robinet** afin d'obtenir la part des Français qui pourraient faire évoluer leur comportement de consommation d'eau avec la décarbonatation de l'eau. **Si l'idée semble bonne, son implémentation nous semble erronée**, après la multiplication de la part des Français qui boivent de l'eau en bouteille tous les jours (nommée A1 par In Extenso) par la part des Français qui boivent de l'eau en bouteille parce qu'ils considèrent l'eau du robinet trop calcaire (nommée A2 par In Extenso).

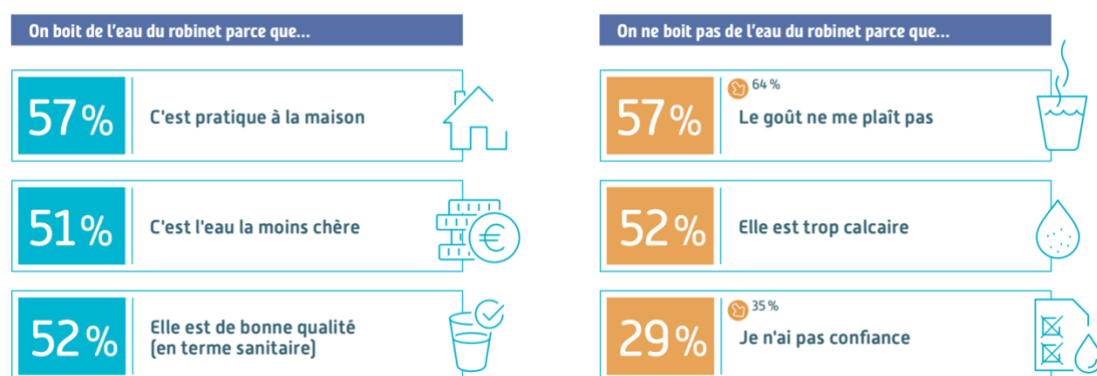
*Équation 14. Raisonnement d'In Extenso pour le calcul de la part des Français susceptibles d'arrêter la consommation d'eau en bouteille après décarbonatation (page 25)*

- 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 %**.

Cette **première multiplication est tout à fait juste** car la part des Français qui boivent de l'eau en bouteille parce qu'ils considèrent l'eau du robinet trop calcaire (A2) **est incluse** dans celle des Français qui boivent de l'eau en bouteille tous les jours (A1). Cependant, **la multiplication suivante**, celle de A par B dans les notations d'In Extenso, **est problématique car les différentes raisons de ne pas boire de l'eau du robinet ne sont pas mutuellement exclusives** : les interviewés ont pu répondre qu'ils ne boivent pas de l'eau du robinet à la fois parce qu'elle est trop calcaire (réponse 1) et parce que le goût ne leur plaît pas (réponse 2). En effet, le CIEAU communique sur **3 raisons de ne pas boire de l'eau du robinet : le goût, le calcaire et la confiance**. La part des Français qui ne boivent pas de l'eau du robinet à cause de son goût, dénommée B1 par In Extenso, s'élève à 57% mais cela n'exclut pas que ce soit à cause du calcaire ; d'autant plus que la concentration en calcaire et le goût de l'eau sont très liés dans l'imaginaire collectif.



Figure 23. Les raisons de boire et de ne pas boire l'eau du robinet d'après l'Enquête nationale du CIEAU 2022



**Si l'on avait voulu continuer le raisonnement** de la multiplication des parts, il aurait fallu savoir, parmi les 57% de personnes ayant répondu qu'ils ne boivent pas d'eau du robinet à cause de sa concentration calcaire, **quelle part le fait pour des raisons susceptibles de rester inchangées après décarbonatation**, versus celle qui le fait pour des raisons susceptibles d'évoluer avec la décarbonatation de l'eau envisagée par le SEDIF. Dès lors se pose **deux problèmes : la définition des « raisons qui ne changeront pas malgré un projet de décarbonatation » et la disponibilité de données entrant dans cette définition.**

Sur le **premier point**, In Extenso retient uniquement la raison « **le goût ne me plaît pas** », et pas la raison « **je n'ai pas confiance** », dans les raisons qui ne changeront pas malgré un projet de décarbonatation ; or on pourrait argumenter au contraire qu'avec la décarbonatation, le goût de l'eau du robinet changerait assez pour faire évoluer les comportements de consommation alors que les personnes n'ayant pas confiance dans les organismes de traitement de l'eau n'auront probablement pas plus confiance dans ceux-ci après la décarbonatation. Ainsi, **la classification des 3 catégories communiquées par le CIEAU en raisons qui changeront avec la décarbonatation ou non est assez incertaine et ouverte au débat.** Quant au **deuxième point**, nous n'avons **pas d'information sur les intersections des réponses des interviewés** : nous ne savons pas par exemple par combien ont répondu à la fois « le goût ne me plaît pas » et « elle est trop calcaire ». Ainsi, la seule donnée fiable que l'on peut tirer de cette enquête est celle des **24% de Français buvant de l'eau en bouteille car l'eau du robinet est trop calcaire**, par la première multiplication réalisée par In Extenso. Bien que ce chiffre soit assez élevé, **c'est la seule raison que l'on puisse relier de manière certaine au projet de décarbonatation du SEDIF**, et donc que l'on puisse utiliser comme donnée de pourcentage de personnes susceptibles de changer de comportement avec le projet du SEDIF.



## Impact lié à l'adoucissement individuel

Le **calcul de l'impact lié à l'adoucissement individuel** nous semble aussi **problématique**. Tout d'abord, l'impact est envisagé **uniquement d'un point de vue économique**, alors que la production d'adoucisseurs individuels, la consommation de produits associés (sels minéraux, résines ou CO<sub>2</sub>), la surconsommation d'eau engendrée par les rinçages, ou même les pertes d'eau représentent **un impact environnemental non-négligeable**. Si l'impact environnemental est cité dans la partie correspondante par In Extenso, il est pourtant ignoré dans les calculs.

Par ailleurs, **le calcul de l'impact économique nous semble erroné**. Le calcul de l'impact lié à l'adoucissement individuel est accompli par In Extenso de la façon suivante : c'est **le coût d'achat et d'installation d'un adoucisseur**, amorti sur sa durée de vie (donnant les 160€ par an et foyer), qui est ensuite multiplié par le nombre d'habitants possédant un adoucisseur individuel, pour enfin être ramené à une valeur par foyer.

Équation 15. Calcul des économies liées à l'arrêt de l'adoucissement individuel, In Extenso (page 40)

### 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

Ce raisonnement nous semble faux car **ce n'est pas l'achat et l'installation d'un adoucisseur individuel que les foyers, possédant un adoucisseur individuel ou non, vont économiser**. Les foyers possédant un adoucisseur individuel vont économiser les coûts liés à l'utilisation de leur adoucisseur, tandis que les coûts d'achat et d'installation de l'adoucisseur sont pour eux des **coûts irrécupérables** (« sunk costs »). Les foyers ne possédant un adoucisseur individuel n'avaient peut-être même pas envisagé d'en installer un : les coûts d'achat et d'installation ne représentent donc pas une **économie d'opportunité**<sup>43</sup>, seule raison pour laquelle on aurait pu considérer que ces coûts d'achat et d'installation pouvaient représenter une économie pour les foyers ne possédant pas déjà d'adoucisseur individuel. Ainsi, il nous semble plus judicieux de **calculer l'impact lié à l'adoucissement individuel en fonction des coûts d'utilisation** qui lui sont associés, ce qui permettra de calculer **aussi un impact environnemental**.

<sup>43</sup> L'économie d'opportunité est le concept jumeau de celui de coût d'opportunité : les foyers ne possédant pas déjà un adoucisseur individuel mais en considérant l'achat auraient préempté l'utilisation de leurs ressources financières pour celui-ci. Grâce à la décarbonatation, ils se seraient libérés de cette dépense envisagée.

## **La simplicité des hypothèses prises : complexifier un peu pour plus de réalisme**

Une des principales limites identifiées dans la dernière étude réside dans la simplicité des hypothèses retenues, notamment en ce qui concerne les **appareils électroménagers** pris en compte. En effet, l'étude s'appuie sur des analyses relatives à **cinq catégories d'appareils** affectés par la qualité de l'eau (chauffe-eau, lave-vaisselle, lave-linge, machine à café, et bouilloire) et il paraît assez difficile d'étendre ce périmètre au vu des études scientifiques disponibles. La simplicité des hypothèses réside plutôt dans le fait que **les auteurs ont pris les données, de prix et d'empreinte carbone par exemple, d'un seul appareil présent sur le marché pour chaque catégorie d'électroménager**, comme si celui-ci était représentatif de la catégorie étudiée, alors que **le choix de l'appareil représentatif implique des biais qu'on ne peut ignorer**.

Cette simplification, bien qu'elle puisse répondre à un souci de clarté ou de limitation des calculs, engendre des approximations importantes. L'approximation est d'autant plus grande que les cinq catégories d'appareils sont vastes. Il semble important de commencer par **décomposer chaque catégorie d'appareil électroménager en une typologie** qui permette de rattacher à chaque sous-catégorie de l'appareil des données plus précises et réalistes. Ainsi, il existe par exemple plusieurs types de chauffe-eau : chauffe-eau à combustible ou chauffe-eau électrique, et chauffe-eau à réservoir ou chauffe-eau instantané. Qu'en est-il des différents types de lessive, solide et liquide, et de machine à café, qui peut être à filtre, à capsules ou espresso ? Passer par cette typologie est **d'autant plus important que les différences entre les sortes d'un même appareil impliquent une grande différence dans l'impact de la dureté de l'eau sur leur usage**, comme cela semble être le cas pour les chauffe-eaux par exemple (PNNL & US Dpt of Energy, November 2013).

Ensuite, **au sein des catégories de la typologie** pour un appareil ou pour un produit, **les produits réellement présents sur le marché présentent en réalité une grande diversité**, non seulement en termes de performance énergétique et d'efficacité, mais aussi en termes de durabilité, de coût d'acquisition et d'impact environnemental. Par exemple, même si on considère le type « lave-vaisselle pour 12 couverts, avec 60L par cycle et chauffe-eau électrique », le lave-vaisselle peut varier considérablement selon qu'il appartient à une gamme d'entrée de gamme ou haut de gamme, selon s'il est fabriqué par une marque éco-responsable ou pas. En conséquence, si les valeurs de référence choisies sont celles d'un unique produit présent sur le marché, elles risquent de ne pas être représentatives.

En s'appuyant sur des hypothèses uniques aussi simplifiées, la précédente étude risque donc de sous-estimer ou de surestimer les impacts de l'adoucissement de l'eau sur les consommateurs. **Une modélisation plus fine, qui intègre la diversité des appareils disponibles sur le marché et leurs caractéristiques différenciées, offrirait une représentation plus réaliste et nuancée des effets attendus.**

### **La transparence et la clarté du raisonnement adopté : pas toujours au rendez-vous.**

Un autre aspect perfectible de la précédente étude concerne la transparence et la clarté du raisonnement. Si les résultats et la méthodologie exposés témoignent d'un **travail analytique poussé, le lecteur peut parfois avoir du mal à suivre précisément le cheminement logique** ayant conduit à ces conclusions. Par exemple, les facteurs de corrélation et les équations de régression qui sont présentés dans les annexes ne correspondent pas toujours à ceux figurant dans les tableaux du corps principal du rapport. Cette incohérence soulève des **interrogations** quant aux étapes supplémentaires ou ajustements méthodologiques qui auraient pu être réalisés entre les deux, sans pour autant être clairement explicités. Une **meilleure documentation des étapes de calcul** aurait permis d'éviter ces ambiguïtés et d'offrir au lecteur une compréhension plus fluide des résultats.

De même, **les méthodes utilisées pour générer certaines données de référence, lorsqu'un calcul est nécessaire, manquent parfois de détails.** Par exemple, les sources de données utilisées pour alimenter le modèle ne sont pas toujours claires et il n'est pas toujours précisé si les données brutes ont été intégrées avant d'être transformées. Présenter les sources de données sous-jacentes, voire inclure des tableaux récapitulatifs des données utilisées, permettrait de renforcer la confiance dans les hypothèses retenues et de faciliter leur reproductibilité. En outre, **certaines hypothèses fortes, bien qu'identifiables dans le raisonnement, ne sont pas suffisamment labélisées comme telles,** ce qui peut donner une impression de consensus ou de robustesse là où des précautions méthodologiques auraient été nécessaires.

### **La communication de résultats majoritairement globaux : comment permettre aux usagers de s'identifier ?**

In Extenso analyse de temps en temps des résultats pour un foyer moyen auquel il est difficile de s'identifier. Proposer une analyse des résultats pour **différents types de foyer représentatifs** d'une part de la population permettrait de les rendre beaucoup plus intelligibles pour tous.

## A1. STRUCTURE D'UNE FEUILLE DE CALCUL DU MODÈLE EXCEL – IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX

Exemple avec l'usine de Choisy-le-Roi et la Configuration 1.

Indicateur	Appareil	Unité	Delta avant/après décarbonatation
Consommation de produits d'entretien	Lessive	kg/an/foyer	
Consommation de produits d'entretien	Produit vaisselle	kg/an/foyer	
Consommation de produits d'entretien	Savon corporel	kg/an/foyer	
Consommation de produits d'entretien	Bouilloire	kg/an/foyer	
Consommation de produits d'entretien	Machine à café	kg/an/foyer	
<b>Consommation totale de produits d'entretien</b>	<b>TOTAL</b>	<b>kg/an/foyer</b>	
Émissions de GES liées à la consommation de produits d'entretien	Lessive	kgCO <sub>2</sub> eq/an/foyer	
Émissions de GES liées à la consommation de produits d'entretien	Produit vaisselle	kgCO <sub>2</sub> eq/an/foyer	
Émissions de GES liées à la consommation de produits d'entretien	Savon corporel	kgCO <sub>2</sub> eq/an/foyer	
Émissions de GES liées à la consommation de produits d'entretien	Bouilloire	kgCO <sub>2</sub> eq/an/foyer	
Émissions de GES liées à la consommation de produits d'entretien	Machine à café	kgCO <sub>2</sub> eq/an/foyer	
<b>Émissions de GES totales liées à la consommation de détergents ou autres produits d'entretien</b>	<b>TOTAL</b>	<b>kgCO<sub>2</sub>eq/an/foyer</b>	
Consommation énergétique	Chauffe-eau	kWh/an/foyer	
Consommation énergétique	Lave-linge	kWh/an/foyer	
Consommation énergétique	Bouilloire	kWh/an/foyer	
Consommation énergétique	Lave-vaisselle	kWh/an/foyer	
Consommation énergétique	Machine à café	kWh/an/foyer	
<b>Consommation énergétique totale</b>	<b>TOTAL</b>	<b>kWh/an/foyer</b>	

Émissions de GES liées à la consommation énergétique	Chauffe-eau	kgCO <sub>2</sub> eq/an/foyer	
Émissions de GES liées à la consommation énergétique	Lave-linge	kgCO <sub>2</sub> eq/an/foyer	
Émissions de GES liées à la consommation énergétique	Bouilloire	kgCO <sub>2</sub> eq/an/foyer	
Émissions de GES liées à la consommation énergétique	Lave-vaisselle	kgCO <sub>2</sub> eq/an/foyer	
Émissions de GES liées à la consommation énergétique	Machine à café	kgCO <sub>2</sub> eq/an/foyer	
<b>Émissions de GES totales liées à la consommation énergétique</b>	<b>TOTAL</b>	<b>kgCO<sub>2</sub>eq/an / foyer</b>	
Durée de vie des équipements	Chauffe-eau	Années	
Durée de vie des équipements	Lave-linge	Années	
Durée de vie des équipements	Bouilloire	Années	
Durée de vie des équipements	Lave-vaisselle	Années	
Durée de vie des équipements	Machine à café	Années	
<b>Durée de vie des appareils ménagers</b>	<b>Moyenne</b>	<b>Années</b>	
Émissions de GES liées à la durée de vie des équipements	Chauffe-eau	kgCO <sub>2</sub> eq/an/foyer	
Émissions de GES liées à la durée de vie des équipements	Lave-linge	kgCO <sub>2</sub> eq/an/foyer	
Émissions de GES liées à la durée de vie des équipements	Bouilloire	kgCO <sub>2</sub> eq/an/foyer	
Émissions de GES liées à la durée de vie des équipements	Lave-vaisselle	kgCO <sub>2</sub> eq/an/foyer	
Émissions de GES liées à la durée de vie des équipements	Machine à café	kgCO <sub>2</sub> eq/an/foyer	
<b>Émissions de GES liées à la durée de vie des équipements</b>	<b>TOTAL</b>	<b>kgCO<sub>2</sub>eq/an / foyer</b>	
Émissions de GES liées à la consommation d'eau en bouteille	Générées par l'ensemble des foyers desservis par Choisy-le-Roi dans la Configuration 1 qui arrêtent la consommation d'eau en bouteille		

<b>Émissions de GES liées à la consommation d'eau en bouteille</b>	Pour un foyer qui buvait de l'eau en bouteille et qui arrête complètement		
<b>Émissions de GES liées à la consommation d'eau en bouteille</b>	<b>Réduction effectuée à l'échelle du territoire et redistribuée sur tous les foyers du territoire</b>		
Quantité de déchets en plastique	Générées par l'ensemble des foyers desservis par Choisy-le-Roi dans la Configuration 1 qui arrêtent la consommation d'eau en bouteille		
<b>Quantité de déchets en plastique</b>	Pour un foyer qui buvait de l'eau en bouteille et qui arrête complètement		
<b>Quantité de déchets en plastique</b>	<b>Réduction effectuée à l'échelle du territoire et redistribuée sur tous les foyers du territoire</b>		
<b>Émissions de GES liés à l'adoucissement individuel</b>	Pour un foyer qui utilisait un adoucisseur et arrête de l'utiliser complètement		
Émissions de GES liés à l'adoucissement individuel	Générées par l'ensemble des foyers desservis par Choisy-le-Roi dans la Configuration 1 qui arrêtent l'utilisation de leur adoucisseur		
<b>Émissions de GES liés à l'adoucissement individuel</b>	<b>Réduction effectuée à l'échelle du territoire et redistribuée sur tous les foyers du territoire</b>		
<b>TOTAL</b>	<b>Équipartition des réductions d'impact liées à la boisson d'eau en bouteille et à l'adoucisseur</b>		
<b>TOTAL</b>	<b>Foyer qui bénéficie des réductions d'impact liées à l'adoucissement individuel et à l'eau en bouteille</b>		
<b>TOTAL</b>	<b>Foyer qui bénéficie des réductions d'impact liées à l'adoucissement uniquement</b>		
<b>TOTAL</b>	<b>Foyer qui bénéficie des réductions d'impact liées à la boisson d'eau en bouteille uniquement</b>		
<b>TOTAL</b>	<b>Foyer qui ne bénéficie ni des réductions d'impact liées à l'adoucissement, ni de celles liées à la boisson d'eau en bouteille</b>		

## A2. STRUCTURE D'UNE FEUILLE DE CALCUL DU MODÈLE EXCEL – IMPACTS ÉCONOMIQUES

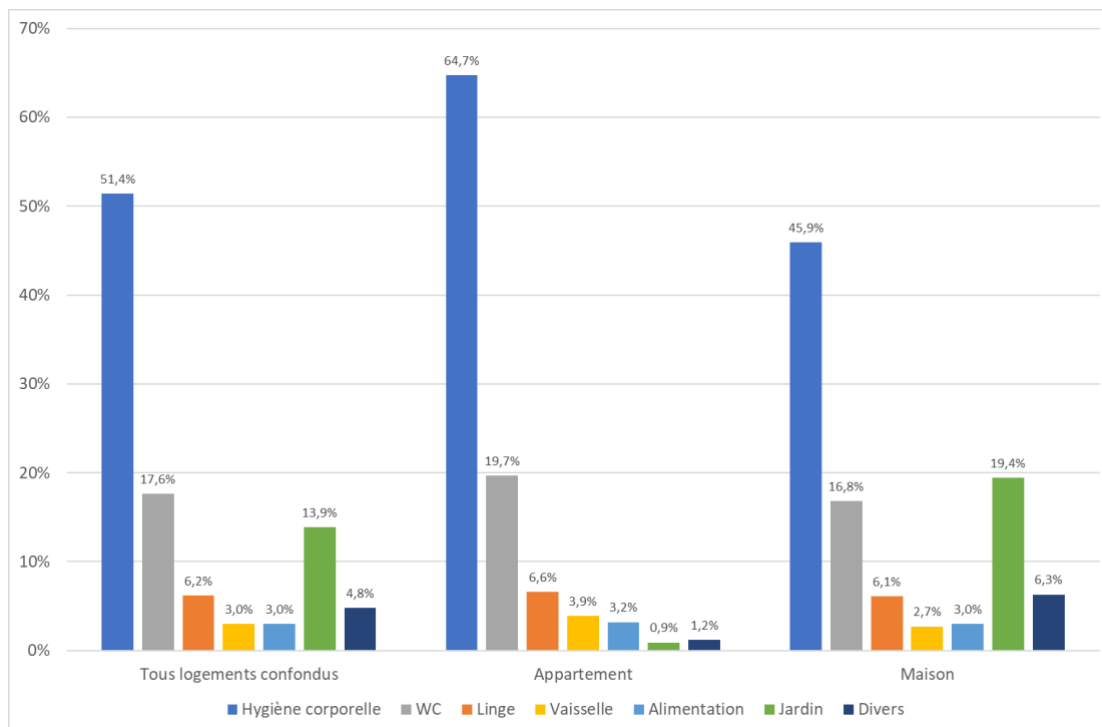
Indicateur	Appareil	Unité	Delta avant/après décarbonation
Économies liées à l'achat de produits d'entretien	Lessive	€/an/foyer	
Économies liées à l'achat de produits d'entretien	Produit vaisselle	€/an/foyer	
Économies liées à l'achat de produits d'entretien	Savon corporel	€/an/foyer	
Économies liées à l'achat de produits d'entretien	Bouilloire	€/an/foyer	
Économies liées à l'achat de produits d'entretien	Machine à café	€/an/foyer	
<b>Économies liées à l'achat de produits d'entretien</b>	<b>TOTAL</b>	<b>€/an/foyer</b>	
Économies liées à la durée de vie	Chauffe-eau	€/an/foyer	
Économies liées à la durée de vie	Lave-linge	€/an/foyer	
Économies liées à la durée de vie	Bouilloire	€/an/foyer	
Économies liées à la durée de vie	Lave-vaisselle	€/an/foyer	
Économies liées à la durée de vie	Machine à café	€/an/foyer	
<b>Économies liées à la durée de vie des équipements</b>	<b>TOTAL</b>	<b>€/an/foyer</b>	
Économies liées à la consommation énergétique	Chauffe-eau	€/an/foyer	
Économies liées à la consommation énergétique	Lave-linge	€/an/foyer	
Économies liées à la consommation énergétique	Bouilloire	€/an/foyer	
Économies liées à la consommation énergétique	Lave-vaisselle	€/an/foyer	
Économies liées à la consommation énergétique	Machine à café	€/an/foyer	
<b>Économies liées à la consommation énergétique</b>	<b>TOTAL</b>	<b>€/an/foyer</b>	

Économies liées à la consommation d'eau en bouteille	Générées par l'ensemble des foyers desservis par Choisy-le-Roi dans la Configuration 1 qui arrêtent la consommation d'eau en bouteille		
<b>Économies liées à la consommation d'eau en bouteille</b>	Pour un foyer qui buvait de l'eau en bouteille et qui arrête complètement		
<b>Économies liées à la consommation d'eau en bouteille</b>	<b>Économies effectuées à l'échelle du territoire et redistribuées sur tous les foyers du territoire</b>		
<b>Économies liées à l'adoucissement individuel</b>	Pour un foyer qui utilisait un adoucisseur et arrête de l'utiliser complètement		
Économies liées à l'adoucissement individuel	Générées par l'ensemble des foyers desservis par Choisy-le-Roi dans la Configuration 1 qui arrêtent l'utilisation de leur adoucisseur		
<b>Économies liées à l'adoucissement individuel</b>	<b>Économies effectuées à l'échelle du territoire et redistribuées sur tous les foyers du territoire</b>		
<b>TOTAL</b>	<b>Équipartition des économies liées à la boisson d'eau en bouteille et à l'adoucisseur</b>		
<b>TOTAL</b>	<b>Foyer qui bénéficie des économies liées à l'adoucissement individuel et à l'eau en bouteille</b>		
<b>TOTAL</b>	<b>Foyer qui bénéficie des économies liées à l'adoucissement uniquement</b>		
<b>TOTAL</b>	<b>Foyer qui bénéficie des économies liées à la boisson d'eau en bouteille uniquement</b>		
<b>TOTAL</b>	<b>Foyer qui ne bénéficie ni des économies liées à l'adoucissement, ni de celles liées à la boisson d'eau en bouteille</b>		



### A3. GRAPHE PRÉSENTANT LES RÉSULTATS DE L'ARTICLE (GOMBERT-COURVOISIER, ET AL., 2024)

Dans cet article, la Figure 1. Répartition des consommations en fonction des usages est la figure que nous utilisons comme référence.



[Lien vers l'article.](#)

### A4. CALCUL DE RÉPARTITION DU POSTE JARDIN/VÉHICULE SUR LES AUTRES POSTES

Les différents postes de consommation tels que déterminés et évalués dans l'enquête (CIEAU, 2017) représentent un total de **94% de la consommation d'eau** si on laisse de côté le poste jardin/véhicule. Nous répartissons les **6% du poste jardin/véhicule** proportionnellement à ce que représente chaque autre poste dans les 94%. Cela revient à considérer que les 94% sont les nouveaux 100% totaux et à réaliser le calcul suivant :

Équation 16. Répartition du poste de consommation jardin/véhicule sur les autres postes de consommation

$$Part_{finale} = Part_{initiale} + 0,06 * \left( \frac{part_{initiale}}{total\ des\ parts\ hors\ JV} \right)$$

$$i.e. Part_{finale} = Part_{initiale} * \left( 1 + \frac{0,06}{total\ des\ parts\ hors\ JV} \right)$$

Tableau 41. Part des postes de consommation avant/après répartition de la part du poste jardin/véhicule

	<b>DONNÉES CIEAU 2017</b>	<b>DONNÉES AVEC RE- RÉPARTITION</b>
<b>Alimentation</b>	7%	7,45%
<b>Hygiène personnelle</b>	39%	41,49%
<b>Sanitaire</b>	20%	21,28%
<b>Linge</b>	12%	12,77%
<b>Vaisselle</b>	10%	10,64%
<b>Jardin/Voiture</b>	6%	
<b>Autres/Divers</b>	6%	6,38%

[Lien vers l'enquête du CIEAU.](#)

## **A5. RÉPARTITION DES VOLUMES PAR TYPES D'USAGERS ET POSTES DE CONSOMMATION, POUR LES DEUX CONFIGURATIONS**

Tableau 42. Usagers et volumes des usines de l'étude, Configuration 1

	<b>PART DANS LA DISTRIBUTION DU SEDIF</b>	<b>USAGERS DESSERVIS EN 2023</b>	<b>VOLUMES FOURNIS EN 2023 (m<sup>3</sup>)</b>
<b>Choisy-le-Roi</b>	37%	1,5 millions	74,7 millions
<b>Méry-sur-Oise</b>	22%	0,9 millions	44,7 millions
<b>Neuilly-sur- Marne</b>	41%	1,6 millions	81,9 millions

Cf. *CHAMP DE L'ÉTUDE, Tableau 1* pour les usagers et volumes des usines concernées par l'étude dans la Configuration 2.

Tableau 43. Volumes consommés par type d'usagers et par usine, Configuration 1

	<b>COLLECTIVITÉS</b>	<b>GESTIONNAIRES D'IMMEUBLE</b>	<b>PARTICULIERS</b>
<b>Choisy- le-Roi</b>	5,9 millions	38,8 millions	16,4 millions
<b>Méry- sur-Oise</b>	3,6 millions	23,2 millions	9,8 millions
<b>Neuilly- sur- Marne</b>	6,6 millions	42,6 millions	18,0 millions

Cf. *CHAMP DE L'ÉTUDE, Tableau 2* pour les volumes consommés par types d'usagers et par usine dans la Configuration 2.

Tableau 44. Volumes consommés par postes et par usine, Configuration 1

	<b>CHOISY-LE- ROI</b>	<b>MERY-SUR- OISE</b>	<b>NEUILLY-SUR- MARNE</b>
<b>Alimentation</b>	6,1 millions	3,7 millions	6,7 millions
<b>Hygiène personnelle</b>	22,9 millions	13,7 millions	25,2 millions
<b>Sanitaire</b>	13,8 millions	8,2 millions	15,1 millions
<b>Linge</b>	7,1 millions	4,2 millions	7,7 millions
<b>Vaisselle</b>	5,9 millions	3,5 millions	6,5 millions
<b>Autres/Divers</b>	5,5 millions	3,3 millions	6,1 millions

Cf. *Analyser les résultats : par types d'usagers et par postes de consommation d'eau, Tableau 6* pour les volumes consommés par postes et par usine dans la Configuration 2.

## A6. DISTRIBUTION DES IMPACTS INTERMÉDIAIRES DANS LES POSTES DE CONSOMMATION

La somme des parts de chaque impact intermédiaire doit valoir 1 (pas forcément celle des parts que reçoivent les postes de consommation).

Tableau 45. Distribution des impacts intermédiaires dans les postes de consommation

IMPACT INTERMÉDIAIRE	ALIMEN-TATION	HYGIÈNE PERSONNELLE	SANITAIRE	LINGE	VAISSELLE
<b>Consommation de produits détergents</b>					
Lessive				1	
Produit vaisselle					1
Savon corporel		1			
Détergent bouilloire	0,5		0,5		
Détergent machine à café	0,5		0,5		
<b>Consommation énergétique</b>					
Chauffe-eau		1			
Lave-linge				1	
Bouilloire	1				
Lave-vaisselle					1
Machine à café	1				
<b>Durée de vie</b>					
Chauffe-eau		1			
Lave-linge				1	
Bouilloire	1				
Lave-vaisselle					1
Machine à café	1				
<b>Consommation d'eau en bouteille</b>					
Consommation d'eau en bouteille	1				
<b>Adoucissement individuel</b>					
Adoucissement individuel	0,33	0,33	0,33		

## A7. DONNÉES INITIALES DE L'ÉTUDE DANOISE

Tableau 46. Données de corrélation entre la dureté de l'eau et la durée de vie, la consommation énergétique et la consommation de produits détergents de l'étude Godskesen et al.

<b>WATER HARDNESS (mg/L)</b>	<b>145</b>	<b>254</b>	<b>362</b>
<b>Washing machine</b>			
<b>Service life (y)</b>	15	12,5	10
<b>Energy, Use Stage (MJ/p/y)</b>	286	299	312
<b>Laundry detergent (kg/p/y)</b>	4,11	4,96	5,8
<b>Dish washer</b>			
<b>Service life (y)</b>	15	12,5	10
<b>Energy, Use Stage (MJ/p/y)</b>	197	197	197
<b>Salt (ion exchange) (kg/p/y)</b>	0	1,33	2,67
<b>Coffee machine</b>			
<b>Service life (y)</b>	12	10	8
<b>Energy, Use Stage (MJ/p/y)</b>	125	131	136
<b>Acetic acid (L/p/y)</b>	0,4	0,7	1
<b>Bouilloire</b>			
<b>Service life (y)</b>	12	10	8
<b>Energy, Use Stage (MJ/p/y)</b>	127	132	138
<b>Acetic acid (L/p/y)</b>	0,4	0,7	1
<b>Savon corporel</b>			
<b>Anionic surfactants (kg/p/y)</b>	1,53	1,96	2,18
<b>Non-ionic surfactants (kg/p/y)</b>	0,38	0,46	0,55

## A8. DONNÉES DE COUVERTURE ET DE FRÉQUENCES D'UTILISATION DES APPAREILS MÉNAGERS

Tableau 47. Couverture et fréquences d'utilisation des appareils ménagers pour la conversion des données danoises en données françaises

	COUVERTURE FRANÇAISE	UTILISATION EN FRANCE	UTILISATION AU DANEMARK	RAPPORT DE FRÉQUENCES D'UTILISATION
<b>Chauffe-eau à gaz</b>	49%	7	7	1
<b>Chauffe-eau électrique</b>	48%	7	7	1
<b>Lave-linge</b>	97%	4	1	4
<b>Bouilloire</b>	66%	7	7	1
<b>Lave-vaisselle</b>	63%	3	1	3
<b>Machine à café</b>	97%	7	7	1
<b>Machine à café filtre</b>	43%	7	7	1
<b>Machine à café expresso</b>	9%	7	7	1
<b>Machine à café à capsules</b>	54%	7	7	1
<b>Utilisation de savon corporel</b>	100%	5,71	4,5	1,27

Toutes les données d'utilisation danoises sont tirées de (Godskesen, et al., 2012), sauf celle sur la fréquence des douches tirées de ce site :

<https://www.euractiv.fr/section/economie/news/denmark-cracked-secret-code-in-water-energy-nexus-official-claims/>

Tableau 48. Sources de données de couverture et de fréquences d'utilisation

	<b>SOURCE DE LA COUVERTURE FRANÇAISE</b>	<b>SOURCE DE L'UTILISATION FRANÇAISE<sup>44</sup></b>
<b>Chauffe-eau à gaz</b>	Couverture totale (100%) (hypothèse forte) moins la couverture des chauffe-eau thermodynamiques (PAC) (3%) et électriques (48%) selon (GIFAM, 2021)	Hypothèse (faible): utilisation 7j/7
<b>Chauffe-eau électrique</b>	Étude GIFAM Insights menée en 2021 auprès de 927 ménages français hors parc de ventes <sup>45</sup> (GIFAM, 2021)	Hypothèse (faible): utilisation 7j/7
<b>Lave-linge</b>	INSEE Tableau de l'Économie française, édition 2020 <sup>46</sup> (INSEE, 2020): 96,3% en 2018, cela est cohérent que la couverture ait un peu augmenté	(ADEME, Mars 2021): 3 à 5 fois par semaine
<b>Bouilloire</b>	Statista 2024 ( <a href="https://fr.statista.com/statistiques/673956/taux-equipement-bouilloire-france/">https://fr.statista.com/statistiques/673956/taux-equipement-bouilloire-france/</a> )	Hypothèse (faible): utilisation 7j/7
<b>Lave-vaisselle</b>	INSEE Tableau de l'Économie française 2019 <sup>47</sup> (INSEE, 2019) et GIFAM Newsletter Focus sur le lave-vaisselle <sup>48</sup> (GIFAM, Février 2019)	(ADEME, Mars 2021): 2 à 4 fois par semaine
<b>Machine à café</b>	Somme des couvertures précédentes hors expresso (contenue dans capsule)	Même hypothèse qu'infra
<b>Machine à café filtre</b>	Statista 2024 ( <a href="https://fr.statista.com/statistiques/994116/machines-a-cafe-equipement-foyers-france/">https://fr.statista.com/statistiques/994116/machines-a-cafe-equipement-foyers-france/</a> )	Hypothèse (faible): utilisation 7j/7
<b>Machine à café expresso</b>	Statista 2024 ( <a href="https://fr.statista.com/statistiques/994116/machines-a-cafe-equipement-foyers-france/">https://fr.statista.com/statistiques/994116/machines-a-cafe-equipement-foyers-france/</a> )	Hypothèse (faible): utilisation 7j/7
<b>Machine à café à capsules</b>	Statista 2024 ( <a href="https://fr.statista.com/statistiques/994116/machines-a-cafe-equipement-foyers-france/">https://fr.statista.com/statistiques/994116/machines-a-cafe-equipement-foyers-france/</a> )	Hypothèse (faible): utilisation 7j/7

<sup>44</sup> Lien vers l'étude de l'ADEME : [https://librairie.ademe.fr/ged/5443/panel-usages-electrodomestiques-2021\\_rapport.pdf](https://librairie.ademe.fr/ged/5443/panel-usages-electrodomestiques-2021_rapport.pdf)

<sup>45</sup> Lien vers les principaux résultats de l'étude : [https://www.gifam.fr/wp-content/uploads/2021/09/Gifam\\_Infographie-thermique\\_VD.pdf](https://www.gifam.fr/wp-content/uploads/2021/09/Gifam_Infographie-thermique_VD.pdf)

<sup>46</sup> Lien vers Tableau de l'Économie française 2020 : <https://www.insee.fr/fr/statistiques/4277714?sommaire=4318291>

<sup>47</sup> Lien vers le Tableau de l'Économie française 2019 : <https://www.insee.fr/fr/statistiques/3676680?sommaire=3696937>

<sup>48</sup> Lien vers la Newsletter Focus sur le lave-vaisselle : [https://www.gifam.fr/wp-content/uploads/2019/02/Newsletter-8-du-Gifam\\_Focus-sur-le-lave-vaisselle.pdf](https://www.gifam.fr/wp-content/uploads/2019/02/Newsletter-8-du-Gifam_Focus-sur-le-lave-vaisselle.pdf)

La donnée française sur la fréquence des douches est tirée de ces sources : <https://www.leprogres.fr/magazine-lifestyle/2022/08/31/certains-francais-avouent-se-laver-moins-d-une-fois-par-semaine>.

## A9. ÉQUATIONS UTILISÉES POUR LA CONVERSION DES DONNÉES DANOISES AUX DONNÉES FRANÇAISES

Équation 17. Conversion des données danoises aux données françaises

<b>WATER HARDNESS (mg/L)</b>	<b>dureté danoise / 10</b>
<b>Washing machine</b>	
<b>Service life (y)</b>	Inchangée
<b>Energy, Use Stage</b> (MJ/pers/y) → (kWh/foyer/an)	Donnée danoise * nbr moyen de personnes par foyer * couverture en lave-linge * rapport d'utilisation française sur utilisation danoise * 0,278
<b>Laundry detergent</b> (kg/p/y) → (kg/foyer/an)	Donnée danoise * nbr moyen de personnes par foyer * couverture en lave-linge * rapport d'utilisation française sur utilisation danoise
<b>Dish washer</b>	
<b>Service life (y)</b>	Inchangée
<b>Energy, Use Stage</b> (MJ/pers/y) → (kWh/foyer/an)	Donnée danoise * nbr moyen de personnes par foyer * couverture en lave-vaisselle * rapport d'utilisation française sur utilisation danoise * 0,278
<b>Salt (ion exchange)</b> (kg/p/y) → (kg/foyer/an)	Donnée danoise * nbr moyen de personnes par foyer * couverture en lave-vaisselle * rapport d'utilisation française sur utilisation danoise
<b>Coffee machine</b>	
<b>Service life (y)</b>	Inchangée
<b>Energy, Use Stage</b> (MJ/pers/y) → (kWh/foyer/an)	Donnée danoise * nbr moyen de personnes par foyer * couverture machine à café * rapport d'utilisation française sur utilisation danoise * 0,278
<b>Acetic acid</b> (kg/p/y) → (kg/foyer/an)	Donnée danoise * nbr moyen de personnes par foyer * couverture machine à café * rapport d'utilisation française sur utilisation danoise



<b>Bouilloire</b>	
<b>Service life (y)</b>	Inchangée
<b>Energy, Use Stage</b> (MJ/pers/y) → (kWh/foyer/an)	Donnée danoise * nbr moyen de personnes par foyer * couverture machine à café * rapport d'utilisation française sur utilisation danoise * 0,278
<b>Acetic acid</b> (kg/p/y) → (kg/foyer/an)	Donnée danoise * nbr moyen de personnes par foyer * couverture machine à café * rapport d'utilisation française sur utilisation danoise
<b>Savon corporel</b>	
<b>Anionic surfactants</b> (kg/p/y) → (kg/foyer/an)	Donnée danoise * nbr moyen de personnes par foyer * rapport d'utilisation française sur utilisation danoise
<b>Non-ionic surfactants</b> (kg/p/y) → (kg/foyer/an)	Donnée danoise * nbr moyen de personnes par foyer * rapport d'utilisation française sur utilisation danoise

## A10. DONNÉES INITIALES DE L'ÉTUDE WQRF

Tableau 49. Données de corrélation entre la dureté de l'eau et la consommation énergétique et durée de vie des chauffe-eaux

<b>DURETÉ DE L'EAU (°F)</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>15</b>	<b>20</b>	<b>25</b>
<b>Chauffe-eau à gaz et à réservoir</b>					
<b>Réduction de l'efficacité par rapport à celle initiale (%)</b>	4,3	8,5	12,8	17	21,3
<b>Consommation énergétique</b> (kWh/foyer/an)	1816,0	1894,1	1970,4	2048,4	2124,7
<b>Durée de vie avant détartrage nécessaire (an)</b>	8,4	4,1	2,7	2	1,6
<b>Chauffe-eau électrique ou instantané</b>					
<b>Réduction de l'efficacité par rapport à celle initiale (%)</b>	0	0	0	0	0
<b>Consommation énergétique</b> (kWh/foyer/an)	1816,0	1816,0	1816,0	1816,0	1816,0
<b>Durée de vie avant détartrage nécessaire (an)</b>	0	0	0	0	0

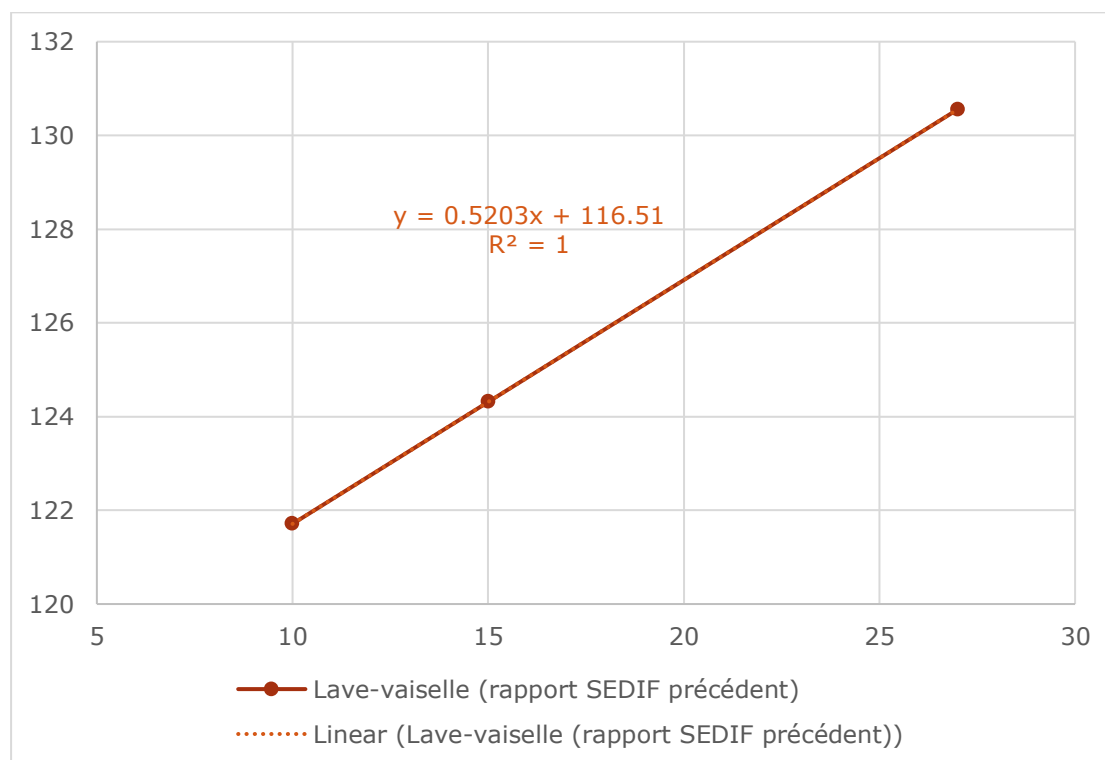
## A11. LA CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE DU LAVE-LINGE

Ces données sont les données présentées dans le **rapport In Extenso** d'après **une étude Veolia** à laquelle nous n'avons malheureusement pas eu accès. La seule actualisation que nous proposons est celle du nombre moyen de personnes par foyer.

Tableau 50. Données de corrélation entre la dureté de l'eau et la consommation énergétique d'un lave-linge

DURETÉ DE L'EAU (°F)	10	25	27
<b>Lave-linge</b>			
<b>Consommation énergétique</b> données In Extenso (kWh/personne/an)	53,617	54,763	57,5134
<b>Consommation énergétique</b> post-actualisation (kWh/foyer/an)	121,71059	124,31201	130,555418

Figure 24. Relation entre la dureté de l'eau et la consommation énergétique du lave-linge



## A12. REPRÉSENTATION GRAPHIQUE DES RÉGRESSIONS LINÉAIRES

Figure 25. Relation entre la dureté de l'eau et la consommation de produits détergents en kg/foyer/an

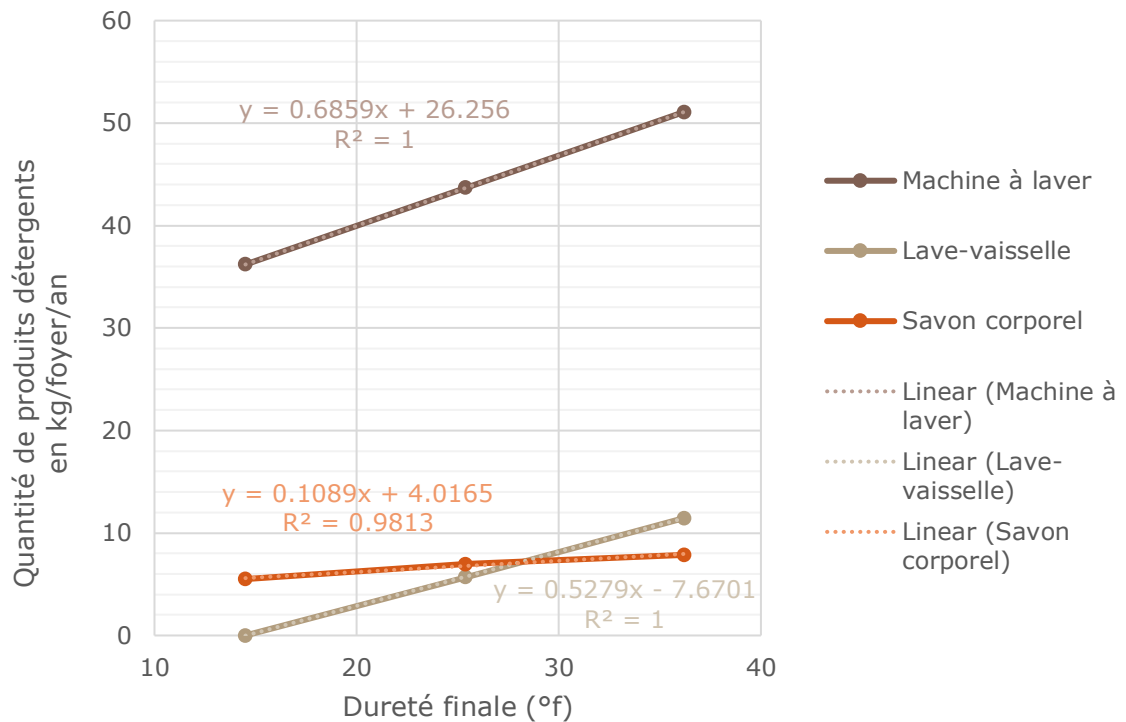


Figure 26. Relation entre la dureté de l'eau et la consommation de produits détergents en L/foyer/an

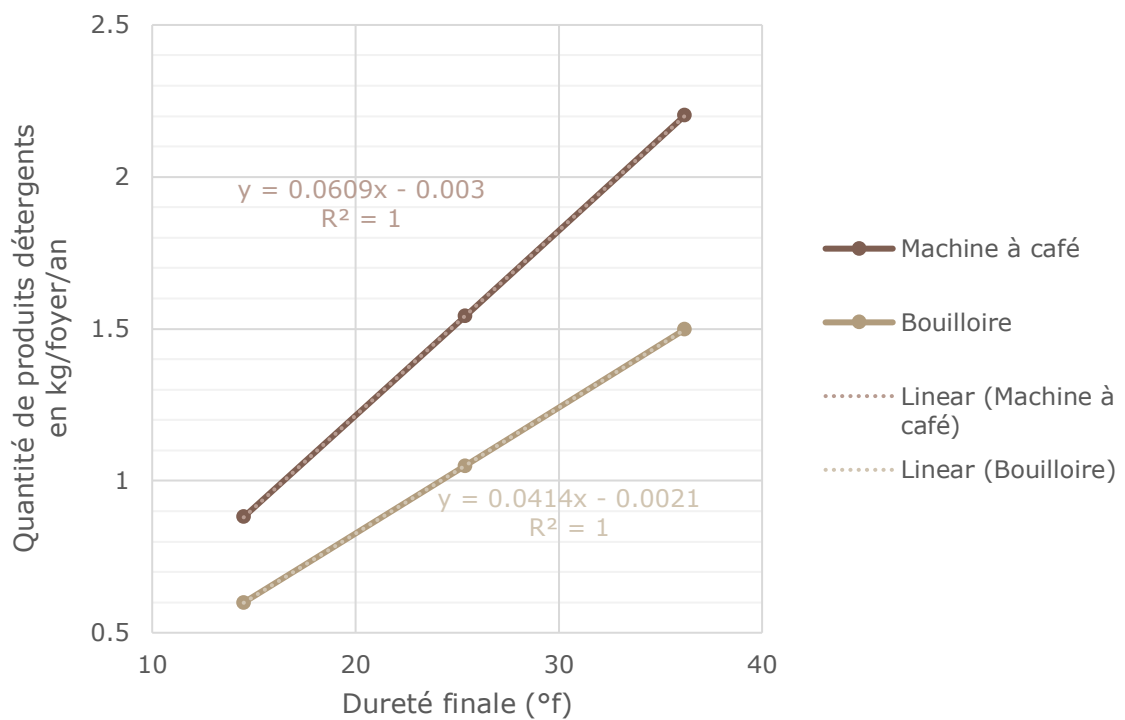


Figure 27. Relation entre la dureté de l'eau et la durée de vie des équipements, hors chauffe-eau

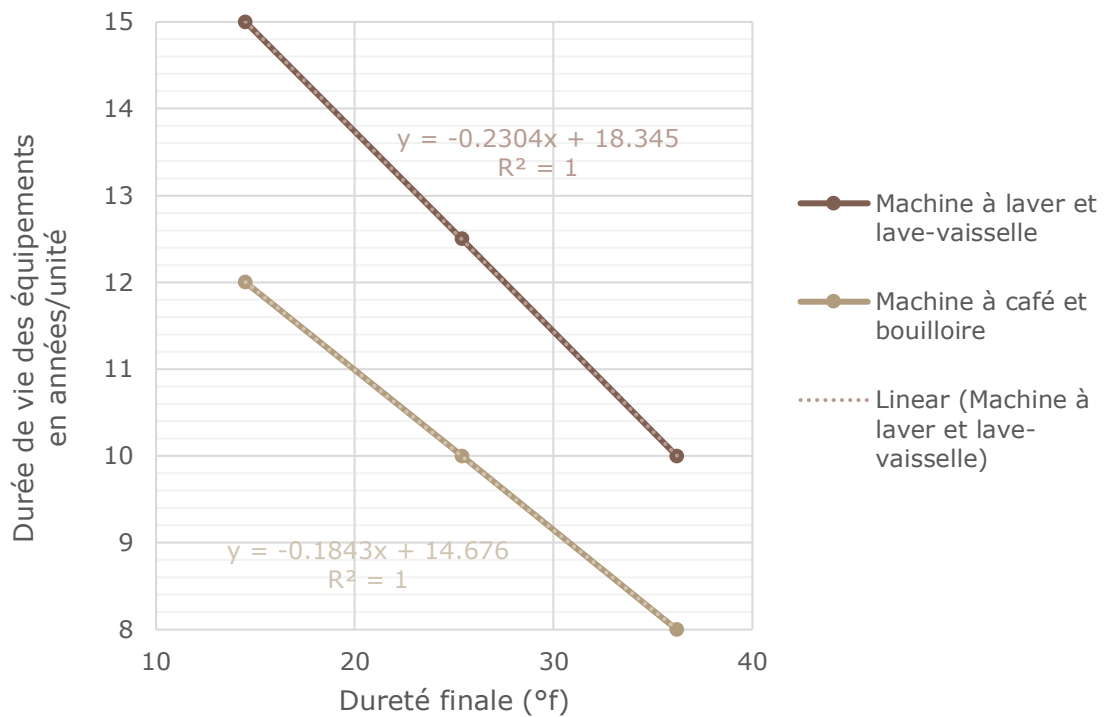


Figure 28. Relation entre la dureté de l'eau et la consommation énergétique des équipements, hors chauffe-eau

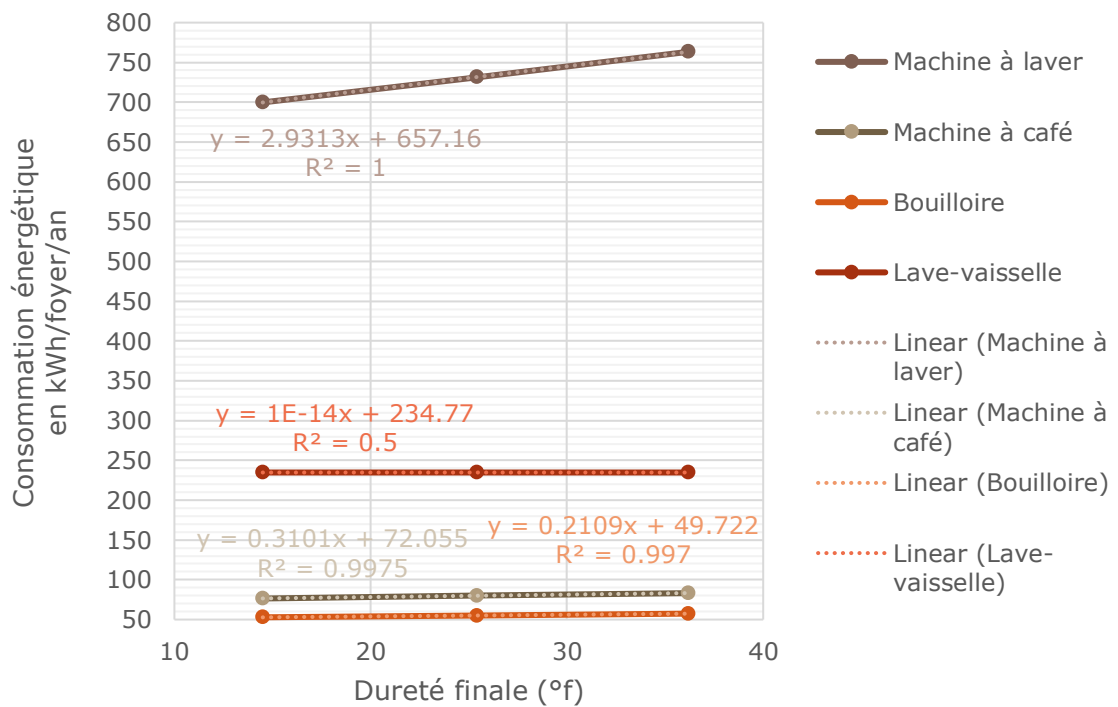


Figure 29. Relation entre la dureté de l'eau et la consommation énergétique du chauffe-eau

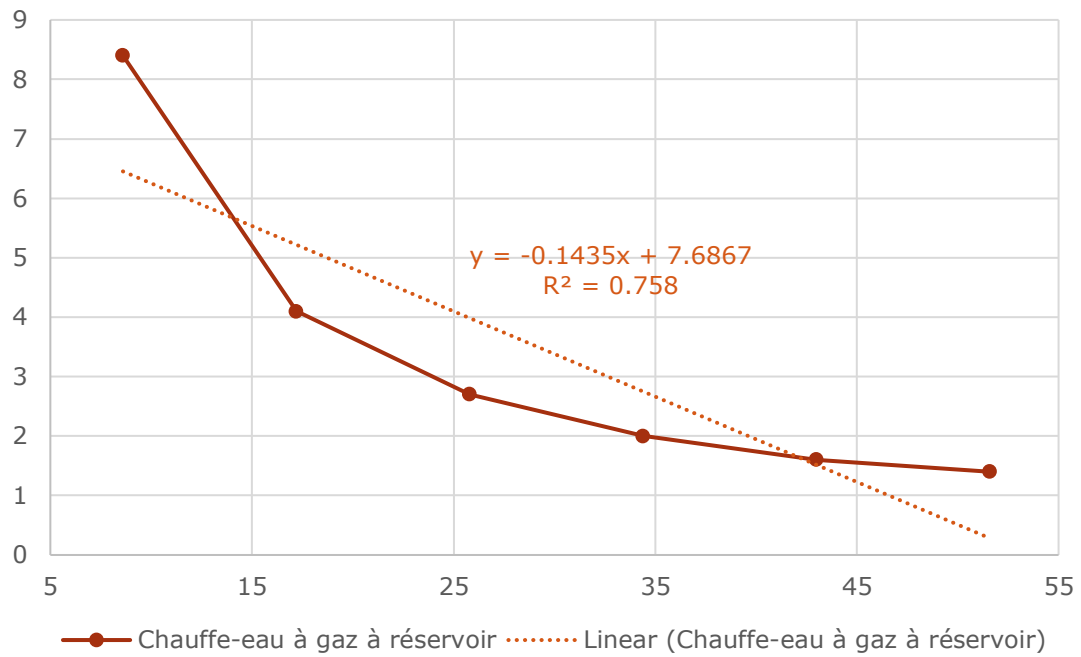
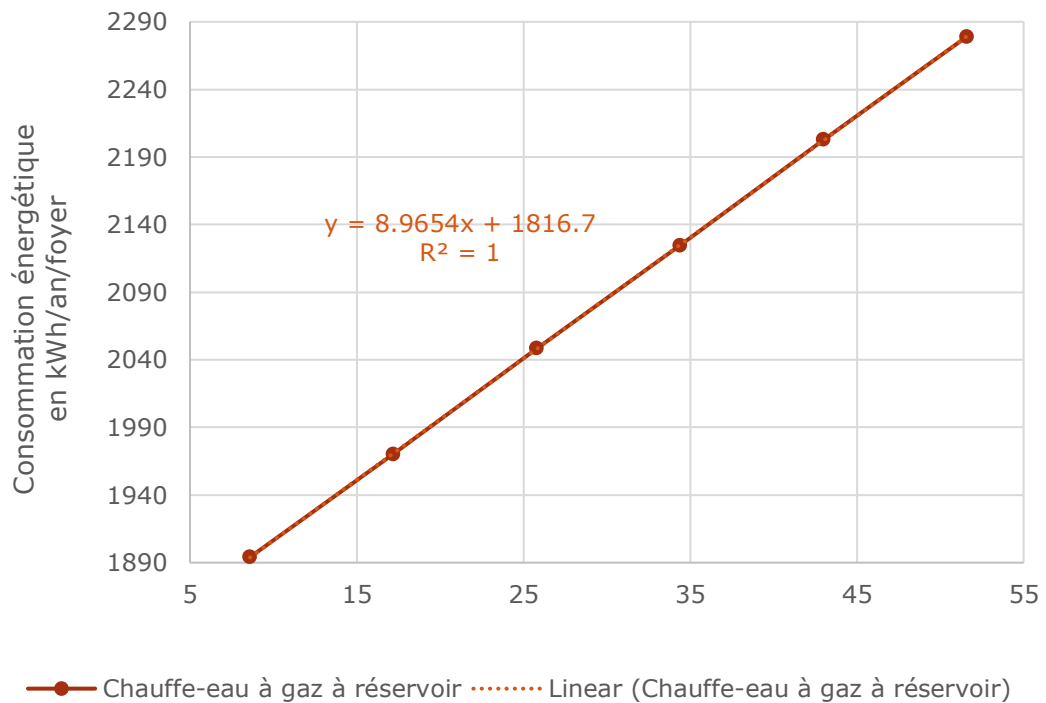


Figure 30. Relation entre la dureté de l'eau et la durée de vie du chauffe-eau



## A13. FORMULES DÉTAILLÉES DES IMPACTS INTERMÉDIAIRES

Indicateur	Appareil	Unité	Delta avant/après décarbonation
Consommation de produits d'entretien	Lessive	kg/an/foyer	Coefficient conso lessive * (dureté initiale – dureté finale)
Consommation de produits d'entretien	Produit vaisselle (*)	kg/an/foyer	Coefficient conso pdt vaisselle * (dureté initiale – dureté finale) si la dureté est supérieure à 14,55°f, sinon 0
Consommation de produits d'entretien	Savon corporel	kg/an/foyer	Coefficient conso savon corporel * (dureté initiale – dureté finale)
Consommation de produits d'entretien	Bouilloire	kg/an/foyer	Masse volumique de l'acide acétique <sup>49</sup> * coefficient conso bouilloire * (dureté initiale – dureté finale)
Consommation de produits d'entretien	Machine à café	kg/an/foyer	Masse volumique de l'acide acétique <sup>21</sup> * coefficient conso machine à café * (dureté initiale – dureté finale)
<b>Consommation totale de détergents ou autres produits d'entretien</b>	<b>TOTAL</b>	<b>kg/an/foyer</b>	
Consommation énergétique	Chauffe-eau	kWh/an/foyer	Couverture chauffe-eau <sup>50</sup> * coefficient conso énerg chauffe-eau * (dureté initiale – dureté finale)
Consommation énergétique	Lave-linge	kWh/an/foyer	Coefficient conso énerg lave-linge * (dureté initiale – dureté finale)
Consommation énergétique	Bouilloire	kWh/an/foyer	Coefficient conso énerg bouilloire * (dureté initiale – dureté finale)
Consommation énergétique	Lave-vaisselle	kWh/an/foyer	Coefficient conso énerg lave-vaisselle * (dureté initiale – dureté finale)
Consommation énergétique	Machine à café	kWh/an/foyer	Coefficient conso énerg machine à café * (dureté initiale – dureté finale)
<b>Consommation énergétique totale</b>	<b>TOTAL</b>	<b>kWh/an/foyer</b>	

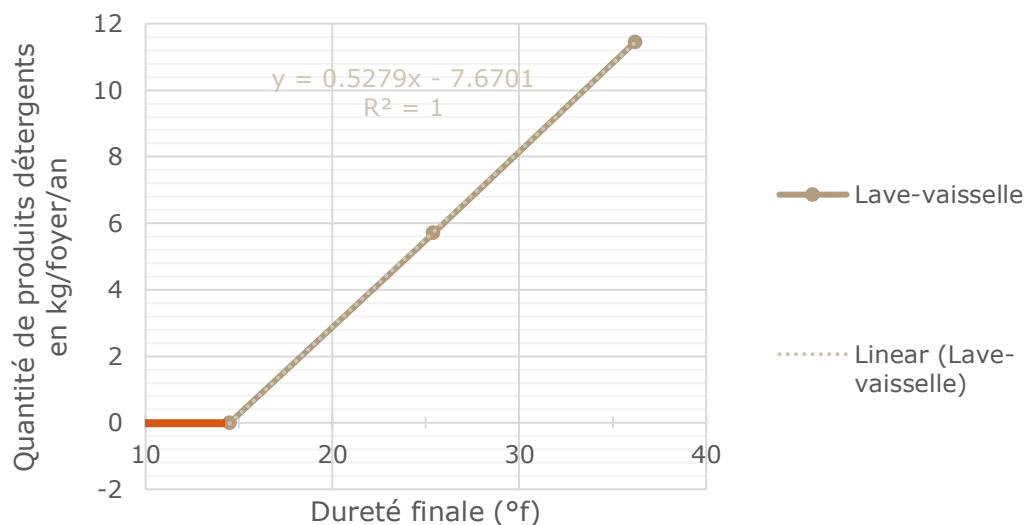
<sup>49</sup> Nous avons besoin de la masse volumique de l'acide acétique pour faire la conversion de données en L/an/foyer en kg/an/foyer. La masse volumique de l'acide acétique est de 1,042 kg/L.

<sup>50</sup> Comme indiqué dans le paragraphe *Le calcul des impacts intermédiaires, hors impacts spécifiques*, nous devons prendre ici en compte la couverture du chauffe-eau à combustible, car ce sont les seuls qui subissent la dureté de l'eau

Durée de vie	Chauffe-eau	années/foyer	coefficient durée de vie chauffe-eau * (dureté finale – dureté initiale)
Durée de vie	Lave-linge	années/foyer	coefficient durée de vie lave-linge * (dureté finale – dureté initiale)
Durée de vie	Bouilloire	années/foyer	coefficient durée de vie bouilloire * (dureté finale – dureté initiale)
Durée de vie	Lave-vaisselle	années/foyer	coefficient durée de vie lave-vaisselle * (dureté finale – dureté initiale)
Durée de vie	Machine à café	années/foyer	coefficient durée de vie machine à café * (dureté finale – dureté initiale)
<b>Durée de vie</b>	<b>MOYENNE</b>		

Vous pouvez observer une disjonction de cas dans la formule de la consommation de produit vaisselle, dénotée par une astérisx (\*). Cet ajustement de l'équation est très important, car les données de l'étude danoise, même après conversion française, donnaient une quantité négative pour une dureté inférieure à 14,5°f, ce qui n'a pas de sens. Cela est dû au fait que l'hypothèse de linéarité sous-estime les consommations pour des duretés faibles ; et les surestime un peu pour des duretés très élevées. Pour éviter cette absurdité mais coller le plus aux données de l'étude scientifique, nous considérons dans la formule que la consommation de produits vaisselles est nulle pour une dureté inférieure à 14,5°f. Cela revient à tracer le segment orange sur le graphe suivant : la consommation de produit vaisselle est représentée par une fonction affine par morceaux.

Figure 31. La consommation de produit vaisselle en fonction de la dureté : une fonction affine par morceaux



## A14. DÉCOMPOSITION DES EMPREINTES CARBONE DU SAVON CORPOREL ET DES ADOUCISSEURS

Tableau 51. Décomposition de l'empreinte carbone du savon, entre savon solide et savon liquide

	SAVON SOLIDE	SAVON LIQUIDE
<b>Empreinte<sup>51</sup></b> (kgCO <sub>2</sub> éq/kg)	1,290	0,472
<b>Ventes<sup>52</sup></b> (millions d'€)	60	151
<b>Part de marché</b> (%)	28,44%	71,56%

Tableau 52. Décomposition de l'empreinte carbone d'un an d'utilisation d'un adoucisseur individuel

	ADOUCCISSEUR À SELS MINÉRAUX ET RÉSINE	ADOUCCISSEUR AU GAZ CARBONIQUE (CO <sub>2</sub> )
<b>Pertes d'eau<sup>53</sup></b> (L/an/foyer)	35	35
<b>Consommation d'eau rinçage/régénération<sup>54</sup></b> (L/an/foyer)	200	1
<b>Quantités de consommables<sup>55</sup></b> (kg/m <sup>3</sup> )	1	0,1
<b>Consommation électrique</b> (kWh/an/foyer)	30	30
<b>Part de marché</b> (%)	87,5%	12,5%

<sup>51</sup> Source : ADEME, Base Empreinte : <https://base-empreinte.ademe.fr/donnees/jeu-donnees>

<sup>52</sup> Source : <https://modelesdebusinessplan.com/blogs/infos/chiffres-savonnerie>

<sup>53</sup> Sources : <https://decalc.fr/comparatif-adoucisseurs-deau-les-differents-types-de-solutions-et-leurs-fonctionnalites/> et <https://uae.fr/le-traitement-de-leau-de-a-a-z/vrai-ou-faux/vrai-faux-adoucisseur/>

<sup>54</sup> Source : <https://www.watercam.fr/consommation-d-eau-adoucisseur.html>

<sup>55</sup> Le consommable est différent pour chaque type d'adoucisseur : pour l'adoucisseur à sels minéraux et résine, ce sont les sels minéraux et pour l'adoucisseur à gaz carbonique, c'est celui-ci. Les deux se mesurent en kg.

Sources : <https://www.climandsoft.com/adoucisseur>, <https://solucalc.com/consommation-adoucisseur-eau/> et <https://www.adoucisseurdeau.info/resine-sel-adoucisseur/>



## A15. BENCHMARK DU COÛT À L'ACHAT

Tableau 53. Etude de marché des prix à l'achat des équipements ménagers

	<b>Bas de gamme</b>	<b>Moyenne gamme</b>	<b>Haut de gamme</b>	<b>Valeur retenue</b>
<b>Chauffe-eau à combustible</b> (€/unité)	300	500	900	<b>600</b>
<b>Lave-linge</b> (€/unité)	250	400	800	<b>500</b>
<b>Lave-vaisselle</b> (€/unité)	350	630	950	<b>700</b>
<b>Bouilloire</b> (€/unité)	30	60	100	<b>70</b>
<b>Machine à café expresso</b> (€/unité)	40	80	150	<b>100</b>
<b>Machine à café filtre</b> (€/unité)	20	40	130	<b>50</b>
<b>Machine à café filtre</b> (€/unité)	45	90	210	<b>130</b>

## A16. DONNÉES D'EMPREINTE CARBONE

### 1. Électricité et gaz

Tableau 54. Empreintes carbone des sources d'énergie

	<b>Empreinte carbone</b>	<b>Méthode et source</b>
<b>Électricité</b> (kgCO <sub>2</sub> eq/kWh)	0,058	ADEME Base Empreinte, mix moyen consommation 2023
<b>Gaz naturel</b> (kgCO <sub>2</sub> eq/kWhPCI)	0,239	ADEME Base Empreinte, mix moyen consommation 2023

### 2. Produits liquides

Tableau 55. Empreintes carbone des produits détergents et de l'eau en bouteille

	<b>Empreinte carbone</b>	<b>Méthode et source</b>
<b>Lessive</b> (kgCO <sub>2</sub> eq/kg)	0,845	Moyenne pondérée des empreintes carbone de l'ADEME pour la lessive en poudre et liquide
<b>Produit vaisselle</b> (kgCO <sub>2</sub> eq/kg)	1,470	Chiffre donné ADEME Base Empreinte <sup>56</sup> recherche "vaisselle"
<b>Savon corporel</b> (kgCO <sub>2</sub> eq/kg)	0,705	Moyenne pondérée des empreintes carbone de l'ADEME pour le savon solide et liquide
<b>Détergent antitartre</b> (kgCO <sub>2</sub> eq/kg)	0,215	Chiffre donné ADEME Base Empreinte recherche "vinaigre blanc"
<b>Eau en bouteille</b> (kgCO <sub>2</sub> eq/L)	0,267	Chiffre donné ADEME Base Empreinte Et Outil ImpactCO <sub>2</sub> <sup>57</sup>

<sup>56</sup> Source : ADEME, Base Empreinte : <https://base-empreinte.ademe.fr/donnees/jeu-donnees>

<sup>57</sup> Source : ADEME Outil ImpactCO<sub>2</sub> <https://www.impactco2.fr/outils/boisson>

### 3. Empreintes carbone de fabrication des appareils ménagers

Tableau 56. Empreintes carbone de fabrication des appareils ménagers

	<b>Empreinte carbone</b>	<b>Méthode et source</b>
<b>Chauffe-eau à combustible</b> (kgCO <sub>2</sub> eq/unité)	159	Chiffre donné ADEME, Outil ImpactCO <sub>2</sub> <sup>58</sup>
<b>Lave-linge</b> (kgCO <sub>2</sub> eq/unité)	341	Chiffre donné ADEME, Outil ImpactCO <sub>2</sub>
<b>Lave-vaisselle</b> (kgCO <sub>2</sub> eq/unité)	271	Chiffre donné ADEME, Outil ImpactCO <sub>2</sub>
<b>Bouilloire</b> (kgCO <sub>2</sub> eq/unité)	9,9	Chiffre donné ADEME, Outil ImpactCO <sub>2</sub>
<b>Machine à café</b> (kgCO <sub>2</sub> eq/unité)	69,5	Chiffre donné ADEME, Outil ImpactCO <sub>2</sub>
<b>Adoucisseur individuel<sup>59</sup></b> (kgCO <sub>2</sub> eq/unité)	140	Extrapolation à partir des données sur les chauffe-eaux et des volumes des adoucisseurs

### 4. Empreintes carbone des consommables pour adoucisseurs

Tableau 57. Empreintes carbone des consommables pour adoucisseurs

	<b>Prix</b>	<b>Méthode et source</b>
<b>Résine cationique</b> (kgCO <sub>2</sub> eq/kg)	0,2516	EcoInvent 2.2
<b>Sels minéraux</b> (kgCO <sub>2</sub> eq/kg)	0,160	EcoInvent 2.3
<b>Gaz carbonique</b> (kgCO <sub>2</sub> eq/kg)	0,05	Astee <sup>60</sup> , d'après Air Liquide

<sup>58</sup> <https://www.impactco2.fr/outils/electromenager>

<sup>59</sup> Nous considérons que les deux types d'adoucisseurs à sels minéraux et résine et à CO<sub>2</sub> ont la même empreinte carbone de fabrication, faute de plus de données.

<sup>60</sup> [https://www.astee.org/wp-content/uploads/2020/02/Guide\\_11\\_Annexe\\_5.xls](https://www.astee.org/wp-content/uploads/2020/02/Guide_11_Annexe_5.xls)

## A17. DONNÉES DE PRIX

### 1. Prix de l'énergie pour les usagers

Tableau 58. Prix des sources d'énergie pour les usagers

	Prix	Méthode et source
<b>Électricité</b> (kgCO <sub>2</sub> eq/kWh)	0,2516	<a href="https://www.kelwatt.fr">https://www.kelwatt.fr</a>
<b>Gaz naturel</b> (kgCO <sub>2</sub> eq/kWhPCI)	0,1383	<a href="https://www.hellowatt.fr/contrat-gaz-naturel/prix-gaz">https://www.hellowatt.fr/contrat-gaz-naturel/prix-gaz</a>

### 2. Prix de consommables

Tableau 59. Prix des différents consommables utilisés dans les calculs des impacts finaux

	Prix	Méthode et source
<b>Eau en bouteille</b> (€/L)	0,5	Benchmark des 3 grandes marques de bouteille d'eau (Cristalline, Évian, Vittel) Prix Carrefour 2024
<b>Lessive</b> (€/kg)	3,5	Moyenne des marques de 3 grands distributeurs français (Monoprix, Leclerc, Lidl) 2024
<b>Produit vaisselle</b> (€/kg)	6,5	Moyenne des marques de 3 grands distributeurs français (Monoprix, Leclerc, Lidl) 2024
<b>Savon corporel</b> (€/kg)	9,9	Prix d'un savon benchmark : le savon de Marseille
<b>Détergent antitartre</b> (€/kg)	15,5	Benchmark des solutions anticalcaires et tartre sous format poudre
<b>Sels pour adoucisseur</b> (€/kg)	5	Benchmark de la résine pour adoucisseurs
<b>Résine pour adoucisseur</b> (€/kg)	4	Benchmark de la résine pour adoucisseurs
<b>Gaz carbonique adoucisseur</b> (€/kg)	2,5	Benchmark des bombonnes de CO <sub>2</sub> pour adoucisseurs

### 3. Prix d'appareils ménagers

Tableau 60. Prix à l'achat des appareils ménagers, retenus après étude de marché pour chaque catégorie

	Prix	Méthode et source
<b>Chauffe-eau à combustible</b> (€/unité)	600	Benchmark du prix à l'achat des appareils ménagers
<b>Lave-linge</b> (€/unité)	500	Benchmark du prix à l'achat des appareils ménagers
<b>Lave-vaisselle</b> (€/unité)	700	Benchmark du prix à l'achat des appareils ménagers
<b>Bouilloire</b> (€/unité)	70	Benchmark du prix à l'achat des appareils ménagers
<b>Machine à café</b> (€/unité)	93	Benchmark du prix à l'achat des appareils ménagers
<b>Adoucisseur à sels et résine</b> (€/unité)	800	Benchmark du prix à l'achat des appareils ménagers
<b>Adoucisseur à gaz carbonique</b> (€/unité)	1500	Benchmark du prix à l'achat des appareils ménagers

## A18. FORMULES DÉTAILLÉES DES IMPACTS FINAUX

### 1. IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX

Indicateur	Appareil	Unité	Delta avant/après décarbonation
Émissions de GES liées à la consommation de produits d'entretien	Lessive	kgCO <sub>2</sub> eq/an/foyer	Qté lessive consommée * empreinte carbone lessive
Émissions de GES liées à la consommation de produits d'entretien	Produit vaisselle	kgCO <sub>2</sub> eq/an/foyer	Qté pdt vaisselle consommée * empreinte carbone pdt vaisselle
Émissions de GES liées à la consommation de produits d'entretien	Savon corporel	kgCO <sub>2</sub> eq/an/foyer	Qté savon corporel consommée * empreinte carbone savon corporel
Émissions de GES liées à la consommation de produits d'entretien	Bouilloire	kgCO <sub>2</sub> eq/an/foyer	Qté détartrant consommée * empreinte détartrant
Émissions de GES liées à la consommation de produits d'entretien	Machine à café	kgCO <sub>2</sub> eq/an/foyer	Qté détartrant consommée * empreinte détartrant
<b>Émissions totales de GES liées à la consommation de produits d'entretien</b>	<b>TOTAL</b>	<b>kgCO<sub>2</sub>eq/an/foyer</b>	<b>SOMME DES 5 LIGNES PRÉCÉDENTES</b>
Émissions de GES liées à la consommation énergétique	Chauffe-eau	kgCO <sub>2</sub> eq/an/foyer	Qté énergie consommée par le chauffe-eau * empreinte carbone gaz
Émissions de GES liées à la consommation énergétique	Lave-linge	kgCO <sub>2</sub> eq/an/foyer	Qté énergie consommée par le lave-linge * empreinte carbone électricité
Émissions de GES liées à la consommation énergétique	Bouilloire	kgCO <sub>2</sub> eq/an/foyer	Qté énergie consommée par la bouilloire * empreinte carbone électricité
Émissions de GES liées à la consommation énergétique	Lave-vaisselle	kgCO <sub>2</sub> eq/an/foyer	Qté énergie consommée par le lave-vaisselle * empreinte carbone électricité
Émissions de GES liées à la consommation énergétique	Machine à café	kgCO <sub>2</sub> eq/an/foyer	Qté énergie consommée par la machine à café * empreinte carbone électricité
<b>Émissions totales de GES liées à la consommation énergétique</b>	<b>TOTAL</b>	<b>kgCO<sub>2</sub>eq/an/foyer</b>	<b>SOMME DES 5 LIGNES PRÉCÉDENTES</b>

Émissions de GES liées à la durée de vie	Chauffe-eau	kgCO <sub>2</sub> eq/an/foyer	Couverture du chauffe-eau * ((empreinte carbone de la fabrication / durée vie avant décarbonatation) – (empreinte carbone de la fabrication / durée de vie après décarbonatation))
Émissions de GES liées à la durée de vie	Lave-linge	kgCO <sub>2</sub> eq/an/foyer	(empreinte carbone de la fabrication / durée vie avant décarbonatation) – (empreinte carbone de la fabrication / durée de vie après décarbonatation)
Émissions de GES liées à la durée de vie	Bouilloire	kgCO <sub>2</sub> eq/an/foyer	(empreinte carbone de la fabrication / durée vie avant décarbonatation) – (empreinte carbone de la fabrication / durée de vie après décarbonatation)
Émissions de GES liées à la durée de vie	Lave-vaisselle	kgCO <sub>2</sub> eq/an/foyer	(empreinte carbone de la fabrication / durée vie avant décarbonatation) – (empreinte carbone de la fabrication / durée de vie après décarbonatation))
Émissions de GES liées à la durée de vie	Machine à café	kgCO <sub>2</sub> eq/an/foyer	(empreinte carbone de la fabrication / durée vie avant décarbonatation) – (empreinte carbone de la fabrication / durée de vie après décarbonatation))
<b>Émissions totale de GES liées à la durée de vie</b>	<b>TOTAL</b>	kgCO <sub>2</sub> eq/an/foyer	<b>SOMME DES 5 LIGNES PRÉCÉDENTES</b>
Émissions de GES liées à la consommation d'eau en bouteille	Pour un foyer qui buvait de l'eau et qui arrête complètement	kgCO <sub>2</sub> eq/an/foyer	Volume consommé avant décarbonatation (133L) * empreinte carbone d'1L d'eau
Émissions de GES liées à la consommation d'eau en bouteille	Pour l'ensemble des foyers du territoire	kgCO <sub>2</sub> eq/an/foyer	Part de personnes qui vont arrêter (24,4%) * nbr d'utilisateurs du territoire * Volume consommé avant décarbonatation (133L) * empreinte carbone d'1L d'eau
<b>Émissions de GES liées à la consommation d'eau en bouteille</b>	<b>Pour un foyer qui bénéficie de l'équi-répartition des bénéfiques sur tout le territoire</b>	<b>kgCO<sub>2</sub>eq/an/foyer</b>	Cellule de la ligne précédente divisée par le nombre de foyers du territoire
Quantité de plastique liée à la consommation d'eau en bouteille	Pour un foyer qui buvait de l'eau et qui arrête complètement	kgCO <sub>2</sub> eq/an/foyer	Volume consommé avant décarbonatation (133L) * poids de plastique d'une bouteille d'1L d'eau
Quantité de plastique liée à la consommation d'eau en bouteille	Pour l'ensemble des foyers du territoire	kgCO <sub>2</sub> eq/an/foyer	Part de personnes qui vont arrêter (24,4%) * nbr d'utilisateurs du territoire * Volume consommé avant

			décarbonatation (133L) * poids de plastique d'une bouteille d'1L d'eau
<b>Quantité de plastique liée à la consommation d'eau en bouteille</b>	<b>Pour un foyer qui bénéficie de l'équi-répartition des bénéfiques sur tout le territoire</b>	<b>kgCO<sub>2</sub>eq/an/foyer</b>	Cellule de la ligne précédente divisée par le nombre de foyers du territoire
Émissions de GES liées à l'adoucissement individuel	Pour un foyer qui buvait de l'eau et qui arrête complètement	kgCO <sub>2</sub> eq/an/foyer	Empreinte carbone du consommable d'adoucisseur * consommation de celui-ci sur une année d'utilisation
Émissions de GES liées à l'adoucissement individuel	Pour l'ensemble des foyers du territoire	kgCO <sub>2</sub> eq/an/foyer	Part de foyers possédant un adoucisseur * nbr de foyers du territoire * Empreinte carbone du consommable d'adoucisseur * consommation de celui-ci sur une année d'utilisation
<b>Émissions de GES liées à l'adoucissement individuel</b>	<b>Pour un foyer qui bénéficie de l'équi-répartition des bénéfiques sur tout le territoire</b>	<b>kgCO<sub>2</sub>eq/an/foyer</b>	Cellule de la ligne précédente divisée par le nombre de foyers du territoire

## 2. IMPACTS ÉCONOMIQUES

Indicateur	Appareil	Unité	Delta avant/après décarbonatation
Dépenses liées à la consommation de produits d'entretien	Lessive	kg/an/foyer	Qté lessive consommée * prix lessive
Dépenses liées à la consommation de produits d'entretien	Produit vaisselle	kg/an/foyer	Qté pdt vaisselle consommée * prix pdt vaisselle
Dépenses liées à la consommation de produits d'entretien	Savon corporel	kg/an/foyer	Qté savon corporel consommée * prix savon corporel
Dépenses liées à la consommation de produits d'entretien	Bouilloire	kg/an/foyer	Qté détartrant consommée * prix détartrant
Dépenses liées à la consommation de produits d'entretien	Machine à café	kg/an/foyer	Qté détartrant consommée * prix détartrant



<b>Émissions totales de GES liées à la consommation de produits d'entretien</b>	<b>TOTAL</b>	<b>kg/an/foyer</b>	<b>SOMME DES 5 LIGNES PRÉCÉDENTES</b>
Dépenses liées à la consommation de produits d'entretien	Chauffe-eau	kWh/an/foyer	Qté énergie consommée par le chauffe-eau * prix gaz
Dépenses liées à la consommation de produits d'entretien	Lave-linge	kWh/an/foyer	Qté énergie consommée par le lave-linge * prix électricité
Dépenses liées à la consommation de produits d'entretien	Bouilloire	kWh/an/foyer	Qté énergie consommée par la bouilloire * prix électricité
Dépenses liées à la consommation de produits d'entretien	Lave-vaisselle	kWh/an/foyer	Qté énergie consommée par le lave-vaisselle * prix électricité
Dépenses liées à la consommation de produits d'entretien	Machine à café	kWh/an/foyer	Qté énergie consommée par la machine à café * prix électricité
<b>Dépenses totales liées à la consommation de produits d'entretien</b>	<b>TOTAL</b>	<b>kWh/an/foyer</b>	<b>SOMME DES 5 LIGNES PRÉCÉDENTES</b>
Dépenses liées à la durée de vie	Chauffe-eau	années/foyer	Couverture du chauffe-eau * ((prix à l'achat / durée vie avant décarbonatation) – (prix à l'achat / durée de vie après décarbonatation))
Dépenses liées à la durée de vie	Lave-linge	années/foyer	(prix à l'achat / durée vie avant décarbonatation) – (prix à l'achat / durée de vie après décarbonatation)
Dépenses liées à la durée de vie	Bouilloire	années/foyer	(prix à l'achat / durée vie avant décarbonatation) – (prix à l'achat / durée de vie après décarbonatation)
Dépenses liées à la durée de vie	Lave-vaisselle	années/foyer	(prix à l'achat / durée vie avant décarbonatation) – (prix à l'achat n / durée de vie après décarbonatation))
Dépenses liées à la durée de vie	Machine à café	années/foyer	(prix à l'achat / durée vie avant décarbonatation) – (prix à l'achat / durée de vie après décarbonatation))
<b>Dépenses liées à la durée de vie</b>	<b>TOTAL</b>		<b>SOMME DES 5 LIGNES PRÉCÉDENTES</b>

Dépenses liées à la consommation d'eau en bouteille	Pour un foyer qui buvait de l'eau et qui arrête complètement		Volume consommé avant décarbonatation (133L) * prix d'1L d'eau
Dépenses liées à la consommation d'eau en bouteille	Pour l'ensemble des foyers du territoire		Part de personnes qui vont arrêter (24,4%) * nbr d'usagers du territoire * Volume consommé avant décarbonatation (133L) * prix d'1L d'eau
<b>Dépenses liées à la consommation d'eau en bouteille</b>	<b>Pour un foyer qui bénéficie de l'équi-répartition des bénéfices sur tout le territoire</b>		Cellule de la ligne précédente divisée par le nombre de foyers du territoire
Dépenses liées à l'adoucissement individuel	Pour un foyer qui buvait de l'eau et qui arrête complètement		Prix du consommable d'adoucisseur * consommation de celui-ci sur une année d'utilisation
Dépenses liées à l'adoucissement individuel	Pour l'ensemble des foyers du territoire		Part de foyers possédant un adoucisseur * nbr de foyers du territoire * prix du consommable d'adoucisseur * consommation de celui-ci sur une année d'utilisation
<b>Dépenses liées à l'adoucissement individuel</b>	<b>Pour un foyer qui bénéficie de l'équi-répartition des bénéfices sur tout le territoire</b>		Cellule de la ligne précédente divisée par le nombre de foyers du territoire

## **A19. CALCUL DES BESOINS DE CONSOMMABLES POUR ADOUCISSEURS EN FONCTION DE LA DURETÉ DE L'EAU**

1L de résine cationique adoucie de 5°f 100L d'eau or 100L d'eau valent 0,1 m<sup>3</sup> d'eau. Donc pour adoucir 1 m<sup>3</sup> d'eau de 5°f, il faut 10L de résine cationique, or la masse volumique de la résine cationique est de 0,120 kg/L. Donc il faut 1,2kg de résine cationique pour adoucir 1 m<sup>3</sup> d'eau de 5°f. Donc pour adoucir d'un degré français 1 m<sup>3</sup> d'eau, il faut (1,2/5) kg de résine cationique.

## A20. LES PROFILS SOCIOLOGIQUES COMPATIBLES AVEC LES DIFFÉRENTS TYPES DE FOYERS

TYPE DE FOYER	PROFILS SOCIO-DÉMOGRAPHIQUES COMPATIBLES
<p><b>TYPE 1 :</b> Foyer qui bénéficie des économies (financières et d'émissions de GES) liées à <b>l'adoucissement individuel et à la consommation d'eau en bouteille</b> : le foyer possède un adoucisseur individuel et consommait de l'eau en bouteille et arrête complètement les deux</p>	<p>- Foyer potentiellement avec enfants, avec un plutôt haut niveau de vie, et avec une plutôt faible sensibilité écologique : arrête de consommer de l'eau en bouteille grâce à l'amélioration du goût de l'eau (a priori pas pour des raisons environnementales et pas pour des raisons de coût)</p>
<p><b>TYPE 2 :</b> Foyer qui bénéficie des économies (financières et d'émissions de GES) <b>uniquement liées à l'adoucissement individuel</b> (pas celles à la consommation d'eau en bouteille) : le foyer possède un adoucisseur individuel et arrête de l'utiliser, mais soit il ne consommait déjà pas d'eau en bouteille, soit il continue d'en consommer autant qu'avant même après décarbonatation</p>	<p>- <b><u>Cas arrête d'utiliser l'adoucisseur individuel que le foyer possède et ne consommait déjà pas d'eau en bouteille</u></b> : foyer avec potentiellement des enfants, plutôt haut niveau de vie et sensibilité écologique plutôt développée</p> <p>- <b><u>Cas arrête d'utiliser l'adoucisseur individuel que le foyer possède à continuer de consommer de l'eau en bouteille</u></b> : foyer avec potentiellement des enfants, plutôt haut niveau de vie, sensibilité écologique plutôt faible : n'arrête pas de consommer de l'eau en bouteille car en a les moyens, peut-être ne remarque pas la différence de goût ou ne s'en soucie pas ou peut-être pas confiance dans les institutions</p>
<p><b>TYPE 3 :</b> Foyer qui bénéficie des économies (financières et d'émissions de GES) <b>uniquement liées à la consommation d'eau en bouteille</b> (pas celles liées à l'adoucissement individuel) : le foyer consommait de l'eau en bouteille et arrête totalement, mais soit il n'avait pas d'adoucisseur individuel même avant décarbonatation, soit il continue de l'utiliser comme avant même après décarbonatation</p>	<p>- <b><u>Cas n'a pas d'adoucisseur individuel mais arrête la consommation d'eau en bouteille</u></b> : foyer avec plutôt faible niveau de vie, qui constate la différence de goût et la possibilité de réduire ses dépenses en arrêtant d'acheter de l'eau en bouteille</p> <p>- <b><u>Cas a un adoucisseur individuel et continue de l'utiliser comme avant mais arrête la consommation d'eau en bouteille</u></b> : foyer avec</p>

	<p>potentiellement enfant, plutôt haut niveau de vie, conscience écologique plutôt développée : arrête la consommation d'eau en bouteille pour raison de goût et écologique, mais continue à adoucir encore plus son eau pour raisons dermatologiques et capillaires, peut-être car enfant dans le foyer</p>
<p><b>TYPE 4 :</b> Foyer qui <b>ne bénéficie pas des deux</b> : ni des économies (financières et d'émissions de GES) liées à l'adoucissement individuel ni de celles liées à la consommation d'eau en bouteille : le foyer peut ne pas posséder d'adoucisseur ou posséder un adoucisseur et ne pas arrêter de l'utiliser, le foyer peut déjà ne pas consommer d'eau en bouteille, ou simplement continuer à en consommer malgré la décarbonatation</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b><u>Cas ne possède pas d'adoucisseur individuel et ne consommait déjà pas d'eau en bouteille</u></b> : foyer avec un très faible niveau de vie, ne consomme pas de l'eau en bouteille car ne peut pas se le permettre</li> <li>- <b><u>Cas ne possède pas d'adoucisseur individuel et continue à boire de l'eau en bouteille</u></b> : foyer avec un niveau de revenu faible ou moyen, pas de sensibilité ni écologique ni au goût de l'eau, ou bien pas confiance dans les institutions</li> <li>- <b><u>Cas possède un adoucisseur et continue de l'utiliser comme avant et ne boit déjà pas d'eau en bouteille</u></b> : foyer avec un haut niveau de revenu, sensibilité écologique développée, mais aussi sûrement au goût et dermatologiques (raisons pour continuer à adoucir son eau)</li> <li>- <b><u>Cas possède un adoucisseur et continue de l'utiliser comme avant et continue à boire de l'eau en bouteille</u></b> : foyer avec un haut niveau de revenu, faible sensibilité écologique, mais aussi sûrement au goût et dermatologiques</li> </ul>

## B0. COMPARAISON DES RÉSULTATS AVEC LES ÉTUDES PRÉCÉDENTES

Face à ces résultats, une question s'impose : **à quels points sont-ils importants ?** Les **équivalences** proposées quelques paragraphes au-dessus permettent de commencer à répondre à cette question en se faisant une idée des **ordres de grandeur** qu'ils représentent. Une autre manière de répondre à cette question est de **comparer nos résultats avec ceux des précédentes études**.

### Comparaison des valeurs absolues des résultats

Nous comparons ici nos résultats avec **ceux d'In Extenso**, car c'est l'étude dont nous sommes la **plus proche en termes méthodologiques**, donnant ainsi du sens à cette comparaison. De même, nous présentons ici toujours nos résultats dans la **première configuration**, correspondant aux communes adhérentes au SEDIF (hors vente en gros). L'étude d'In Extenso présentait trois configurations différentes : nous retenons ici **leurs résultats correspondant à la même configuration**, afin de comparer des valeurs qui représentent la même chose.

Tableau 61. Comparaison de nos résultats avec ceux de l'étude In Extenso

DURETÉ DE L'EAU	8°f	10°f	12°f
<b>Réduction des dépenses (M€/an)</b>			
<b>EJE</b>	<b>470</b>	<b>436</b>	<b>403</b>
In Extenso	276	259	235
<b>Réduction de la consommation énergétique (GWh/an)</b>			
<b>EJE</b>	<b>225</b>	<b>195</b>	<b>166</b>
In Extenso	127	110	93
<b>Réduction des émissions de GES (ktCO<sub>2</sub>eq/an)</b>			
<b>EJE</b>	<b>141</b>	<b>130</b>	<b>119</b>
In Extenso	119	115	111
<b>Réduction de la production de plastique (t/an)</b>			
<b>EJE</b>	<b>1 983</b>	<b>1 983</b>	<b>1 983</b>
In Extenso	Non calculé	Non calculé	Non calculé

**L'étude EJE estime des impacts plus élevés que l'étude In Extenso pour toutes les catégories analysées**, sauf pour la réduction de la production de plastique, qui n'est pas calculée dans cette dernière. En ce qui concerne les **dépenses**, nous prévoyons des économies allant de 470 M€/an à 403 M€/an, tandis qu'In Extenso les évalue entre 276 M€/an et 235 M€/an. Cela représente **une estimation supérieure de 70% à 72% selon la dureté de l'eau**. Une tendance similaire est observée pour la réduction de la **consommation énergétique**, où nos valeurs (225 GWh/an à 166 GWh/an) sont **en moyenne 77% plus élevées** que celles d'In Extenso (127 GWh/an à 93 GWh/an). Concernant les **émissions de gaz à effet de serre**, nous anticipons des réductions plus importantes (141 ktCO<sub>2</sub>eq/an à 119 ktCO<sub>2</sub>eq/an) par rapport à In Extenso (119 ktCO<sub>2</sub>eq/an à 111 ktCO<sub>2</sub>eq/an), soit un **écart positif de 18 % à 22 %**. Enfin, nous évaluons la production de plastique alors qu'In Extenso ne le faisait pas. Ainsi, nous aboutissons à **des impacts qui sont systématiquement supérieurs** à ceux calculés par In Extenso. Il est intéressant de noter qu'ils sont **particulièrement plus importants pour la consommation énergétique et les dépenses**, où les écarts dépassent 70 %, tandis que **la différence est plus modérée pour les émissions de GES**, avec environ 20 % d'écart.

L'une des principales raisons expliquant les écarts observés entre notre étude et celle d'In Extenso pour la **réduction des dépenses** réside dans **la prise en compte des économies liées à l'adoucissement de l'eau**. En effet, les bénéfices économiques liés à l'arrêt de l'adoucissement sont beaucoup plus élevés que ceux prévus par In Extenso car ils sont fondés sur **le calcul des coûts générés par l'utilisation d'un adoucisseur individuel** et non de son simple achat et installation.

Concernant la **consommation énergétique**, notre estimation plus élevée s'explique principalement par une meilleure utilisation des données issues de la WQRF. Notre exploitation de ces données permet **d'évaluer avec plus de précision l'impact de l'adoucissement de l'eau sur la performance des chauffe-eaux**. Notre étude reflète plus fidèlement la réalité des gains énergétiques générés par la réduction de la dureté de l'eau avec un facteur de corrélation plus élevé, ce qui aboutit à des valeurs absolues plus élevées.

En revanche, l'écart observé sur les **émissions de gaz à effet de serre** est **bien plus modéré que pour les autres catégories d'impact**. Cette relative stabilité indique que **notre étude ne surestime pas les effets de l'adoucissement sur la réduction des émissions**. Il est intéressant de noter que le passage de la consommation énergétique aux émissions de GES est presque d'1GWh/an pour 1 ktCO<sub>2</sub>eq/an chez In Extenso, alors que ce n'est plus du tout le cas dans notre étude, soulignant ainsi la **diversité des vecteurs** qui sont pris en compte dans les émissions.

## Comparaison de la sensibilité des résultats

Dans les deux études, l'évolution des impacts en fonction de la dureté de l'eau suit une **tendance générale de diminution des bénéfiques lorsque la dureté augmente**. Cependant, il est intéressant d'analyser l'importance de la variation des impacts lorsqu'on augmente ou diminue la dureté finale de 20% autour de la dureté finale cible de 10°f : nous souhaitons ici faire une **analyse comparée de la sensibilité de nos résultats à la valeur exacte de la dureté finale** avec celle d'In Extenso.

Tableau 62. Comparaison de la sensibilité des résultats à la dureté finale effective, avec celle de l'étude d'In Extenso

ÉVOLUTION DE LA DURETE DE L'EAU (%)	10°f -> 8°f -20%	10°f -> 12°f +20%
<b>Réduction des dépenses (M€/an)</b>		
<b>EJE</b>	<b>+7,8%</b>	<b>-7,6%</b>
In Extenso	+6,6%	-9,3%
<b>Réduction de la consommation énergétique (GWh/an)</b>		
<b>EJE</b>	<b>+15,4%</b>	<b>-14,9%</b>
In Extenso	+15,5%	-15,5%
<b>Réduction des émissions de GES (ktCO<sub>2</sub>eq/an)</b>		
<b>EJE</b>	<b>+8,5%</b>	<b>+8,5%</b>
In Extenso	+3,5%	+3,5%

En termes de **dépenses**, une augmentation ou une diminution de 20 % de la dureté de l'eau finale entraîne **une variation quasi symétrique des résultats dans notre étude** : environ plus ou moins 8 % de réduction des dépenses que la dureté finale passe de 10°f à 8°f ou de 10°f à 12°f. En revanche, **dans l'étude In Extenso, l'impact est asymétrique** : la diminution de la dureté entraîne une hausse de seulement +6,6 % des économies, tandis que son augmentation provoque une perte plus marquée de -9,3 %. Ainsi, **l'impact économique se dégrade plus fortement dans l'étude In Extenso que dans la nôtre lorsque la dureté finale est plus élevée que prévu**, tandis que la progression des bénéfiques est plus modérée chez In Extenso lors de l'adoucissement de l'eau.

Concernant la **consommation énergétique**, les variations sont **très similaires dans les deux études** : entre -14,9 % et -15,5 % selon les paliers de dureté. C'est très intéressant de constater que **les dynamiques sont sensiblement les mêmes alors qu'il y avait une grosse différence dans les valeurs absolues** (nos résultats étant en moyenne 77% plus élevés sur la consommation énergétique) : cela est extrêmement **cohérent avec les changements méthodologiques** qui touchent à l'évaluation de la consommation énergétique, que nous avons effectués. En effet, nous avons utilisé différemment les données de la WQRF, ce qui nous a donné **un facteur de corrélation de la dureté de l'eau avec la consommation énergétique plus élevé que celui calculé par In Extenso**, ce qui aboutit à des résultats en valeurs absolues qui sont plus grands. Cependant, **la logique méthodologique est restée la même, et donc les ordres de grandeur des tendances sont gardés**.

En revanche, un **écart plus significatif** entre les deux études apparaît dans la comparaison des dynamiques de la **réduction des émissions de gaz à effet de serre**. Nous aboutissons à **des diminutions plus marquées** (+8,5 % lorsque la dureté baisse à 8°f et -8,5 % lorsqu'elle augmente à 12°f), tandis que l'étude In Extenso estime des variations bien plus faibles (+3,5 % et -3,5 %). Cela signifie que **notre modèle prend en compte un lien plus direct entre la dureté de l'eau et les émissions de GES**, alors que l'étude In Extenso modélise un effet assez atténué.

Ainsi, pour les **dépenses**, la **sensibilité de nos résultats autour de la dureté finale de 10°f est plus faible** que la moyenne de la sensibilité à la hausse et à la baisse d'In Extenso. Elle est aussi **plus stable** (elle a une variance plus faible) : cette sensibilité est donc **plus certaine**. Pour la **consommation énergétique**, la **sensibilité de nos résultats n'est ni plus faible ni plus grande** que celle des résultats d'In Extenso. Seulement pour **les émissions de gaz à effet de serre**, nos résultats sont **plus sensibles à la dureté finale de l'eau**. Cela est dû au fait que nous prenons en compte **plus de vecteurs d'impacts environnementaux** qu'In Extenso comme la consommation de produits détergents par la bouilloire ou les consommations de produits pour adoucisseurs, mais aussi parce que nous faisons en sorte que **les impacts environnementaux dépendent directement de la dureté de l'eau**, comme par exemple dans la consommation de résine par les adoucisseurs à sels minéraux, là où In Extenso utilisait des valeurs qui ne dépendaient pas de la dureté de l'eau.

### **Comparaison des taux d'accroissement**

Nous pouvons aussi comparer la **linéarité** de nos impacts finaux. Nous présentons ici les **taux d'accroissement entre 8°f et 10°f et entre 10°f et 12°f**.

Rappel, taux d'accroissement entre  $a$  et  $b$ ,  $a < b$  :  $\frac{f(b) - f(a)}{b - a}$



Tableau 63. Comparaison des taux d'accroissement entre 8°f et 10°f, et 10°f et 12°f, avec ceux de l'étude d'In Extenso

<b>DURETÉ DE L'EAU</b>	<b>ENTRE 8°f ET 10°f</b>	<b>ENTRE 10°f ET 12°f</b>
<b>Réduction des dépenses (M€/an)</b>		
<b>EJE</b>	<b>-17</b>	<b>-16,5</b>
<b>In Extenso</b>	<b>-8,5</b>	<b>-12</b>
<b>Réduction de la consommation énergétique (GWh/an)</b>		
<b>EJE</b>	<b>-15</b>	<b>-14,5</b>
<b>In Extenso</b>	<b>-8,5</b>	<b>-8,5</b>
<b>Réduction des émissions de GES (ktCO<sub>2</sub>eq/an)</b>		
<b>EJE</b>	<b>-5,5</b>	<b>-5,5</b>
<b>In Extenso</b>	<b>-2</b>	<b>-2</b>

En examinant ces valeurs, il est possible **d'évaluer la linéarité de la relation entre la dureté de l'eau et les différentes catégories d'impact** calculé. En effet, une relation tout à fait linéaire correspondrait à un **taux d'accroissement égal** entre 8°f et 10°f d'une part et entre 10°f et 12°f de l'autre.

Tout d'abord, nous observons que **nos taux d'accroissement entre 8°f et 10°f sont relativement proches de ceux mesurés entre 10°f et 12°f**. Par exemple, la réduction des dépenses est de -17 M€/an pour le premier intervalle et de -16,5 M€/an pour la seconde, ce qui suggère une relation quasi-linéaire. Il en va de même pour la consommation énergétique, où l'écart est de -15 GWh/an entre 8°f et 10°f et de -14,5 GWh/an entre 10°f et 12°f. Enfin, les émissions de GES suivent exactement le même taux d'accroissement dans les deux intervalles (-5,5 ktCO<sub>2</sub>eq/an), **ce qui renforce l'hypothèse d'une linéarité dans l'étude d'EJE**.

**L'étude d'In Extenso présente la même linéarité** pour les émissions de GES et la consommation énergétique mais pas pour les dépenses. En effet, **l'étude d'In Extenso présente des taux d'accroissement différents pour la réduction des dépenses, ce qui suggère une relation moins linéaire**. L'accroissement est d'abord -8,5 M€/an entre 8°f et 10°f, mais il augmente à -12 M€/an entre 10°f et 12°f.

Ainsi, notre étude est **plus constante dans la linéarité**, ce qui montre que nos changements méthodologiques nous ont permis de nous rapprocher de l'hypothèse que font toutes les **études scientifiques** sur le sujet : **l'impact de la dureté de l'eau est linéaire**.

## B1. IMPACTS FINAUX PAR USINE, POUR UNE DURETÉ FINALE DE 10°F

Il nous semblait intéressant de **comparer les résultats générés par les différentes usines**, ce que nous nous proposons de faire dans cette partie. Nous présentons ici **les impacts calculés pour un foyer moyen desservi par l'usine multiplié par le nombre de foyers desservis par l'usine**, c'est-à-dire les trois termes qui ont été sommés pour obtenir les résultats présentés dans la partie précédente.

Tableau 64. Impacts finaux par usine, pour la dureté finale de 10°F

	Choisy-le-Roi	Méry-sur-Oise	Neuilly-sur-Marne
<b>Réduction des dépenses (M€/an)</b>	158	62	216
<b>Réduction des émissions de GES (ktCO<sub>2</sub>eq/an)</b>	47	18	65
<b>Réduction de la production de plastique (t/an)</b>	736	440	807

Ce tableau met en évidence des **disparités significatives** entre les trois usines en ce qui concerne les **impacts totaux**. L'usine de **Neuilly-sur-Marne** affiche les meilleures performances en termes d'impact, avec 216 M€ d'économies, 65 kt de CO<sub>2</sub> équivalent et 807 tonnes de plastique évitées, par an. À l'inverse, **Méry-sur-Oise** présente des gains nettement plus modestes (62 M€ d'économies, 18 kt de CO<sub>2</sub> équivalent, 440 tonnes de plastique évitées, par an), tandis que **Choisy-le-Roi** se situe dans une position intermédiaire.

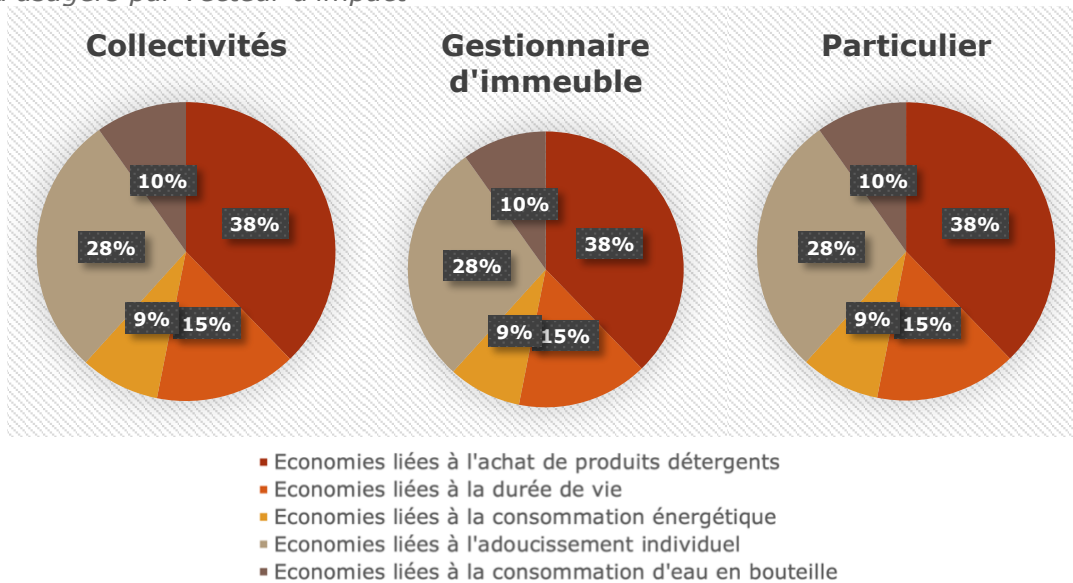
Ces écarts peuvent s'expliquer par **deux facteurs structurels**. Tout d'abord, **le nombre de foyers desservis par chaque usine joue un rôle clé** : Neuilly-sur-Marne étant la plus grande usine en termes de foyers desservis, l'impact absolu des mesures mises en place y est plus important. Ensuite, **la dureté initiale de l'eau avant traitement influence directement les gains obtenus** après l'installation du système de filtration membranaire qui dépendent du delta de dureté (dureté initiale – dureté finale) : une eau plus dure à l'origine, pour une même dureté finale, signifie des impacts finaux plus importants. **Méry-sur-Oise** est l'usine qui a **la dureté la plus faible au départ**, et **Neuilly-sur-Marne la plus élevée**, ce qui renforce la première position de Neuilly-sur-Marne et explique la dernière de Méry-sur-Oise.

## B2. RÉSULTATS DES CATÉGORIE D'USAGERS

Comme indiqué dans le corps du rapport, **l'analyse détaillée de chaque catégorie d'utilisateur est exactement la même que celle des résultats globaux car chaque catégorie d'utilisateur est une part du résultat global**. Ainsi, en décomposant les résultats de chaque catégorie d'utilisateur par vecteur intermédiaire, on retrouve toujours la même décomposition que celle obtenue avec le résultat global.

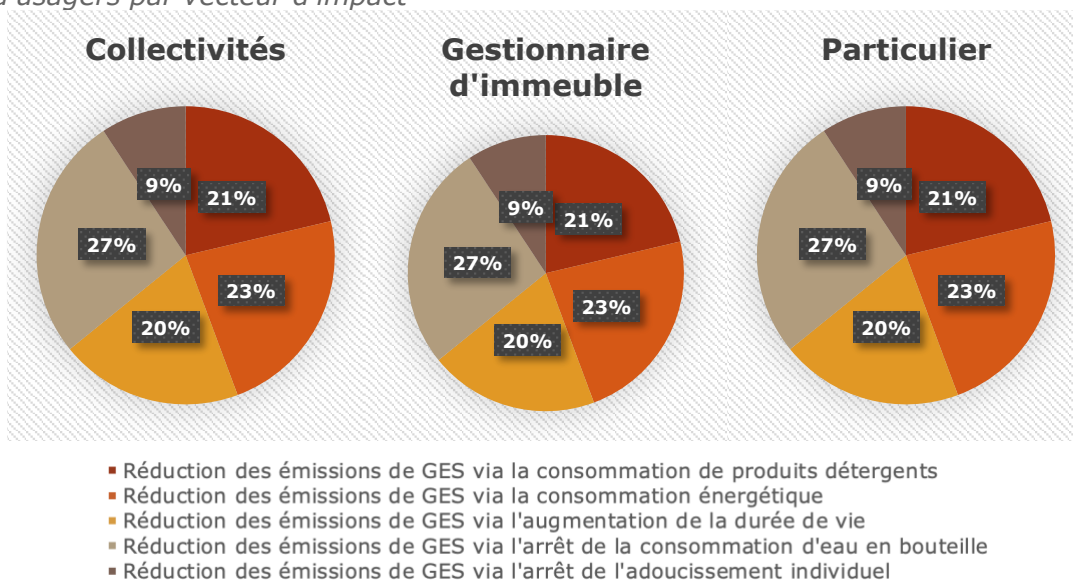
### Réduction des dépenses

Figure 32. Décomposition de la réduction des dépenses des 3 catégories d'utilisateurs par vecteur d'impact



### Réduction des émissions de GES

Figure 33. Décomposition de la réduction des émissions de GES des 3 catégories d'utilisateurs par vecteur d'impact



## B3. RÉSULTATS DES POSTES DE CONSOMMATION

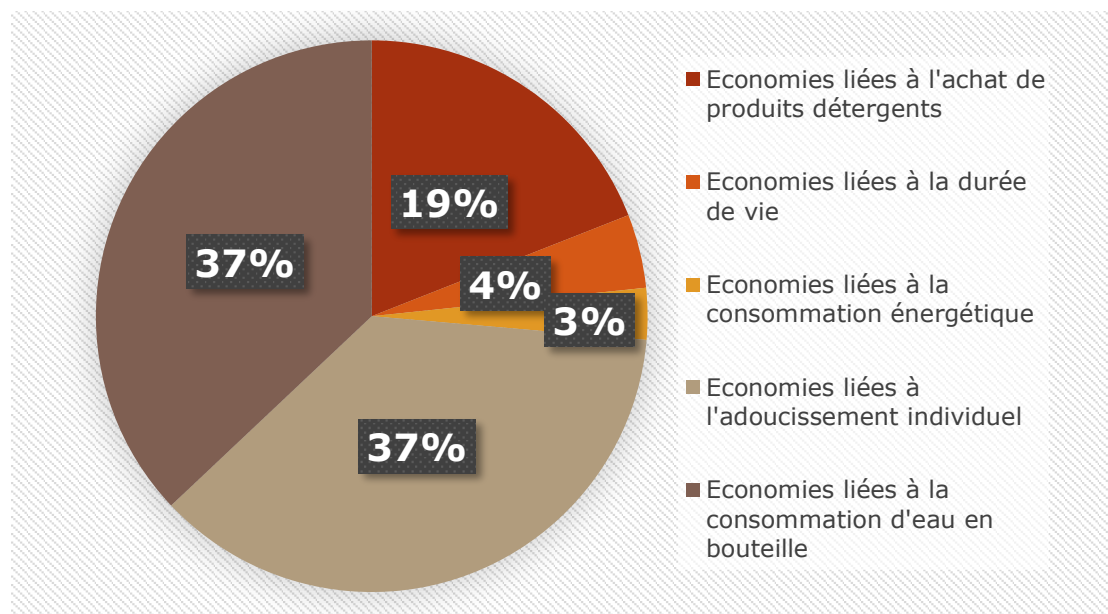
Dans le corps du rapport, nous avons étudié dans quelle mesure les différents postes de consommation d'eau génèrent de la réduction des dépenses et de la réduction des émissions de GES. Dans cette annexe, nous étudions **la mesure dans laquelle les différents vecteurs d'impact nourrissent la réduction des dépenses et des émissions de GES des 5 postes de consommation.**

### Réduction des dépenses

#### Alimentation

Le poste de consommation d'eau « **Alimentation** » présente la décomposition par vecteur d'impact de la réduction des dépenses suivante :

Figure 34. Décomposition par vecteur d'impact de la réduction des dépenses du poste "Alimentation"

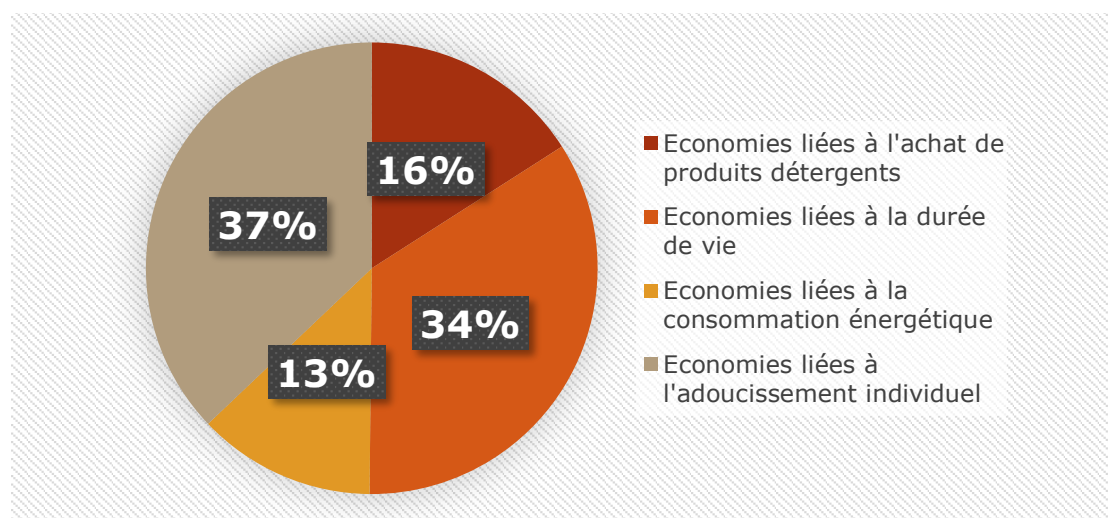


**Nous trouvons en premier lieu à égalité l'arrêt de l'adoucissement individuel et l'arrêt de la consommation d'eau en bouteille (37%).** Ce résultat est très logique car l'impact intermédiaire généré par la consommation d'eau en bouteille est uniquement dans le poste « Alimentation » et n'est financièrement pas négligeable, et car l'impact intermédiaire généré par l'arrêt de l'adoucissement individuel est financièrement très important. Bien qu'un seul tiers de la totalité de ce dernier entre dans le poste « Alimentation », cela suffit pour égaler la part du vecteur de la consommation d'eau en bouteille.

## Hygiène personnelle

Le poste de consommation d'eau « **Hygiène personnelle** » présente la décomposition par vecteur d'impact de la réduction des dépenses suivante :

Figure 35. Décomposition par vecteur d'impact de la réduction des dépenses du poste "Hygiène personnelle"

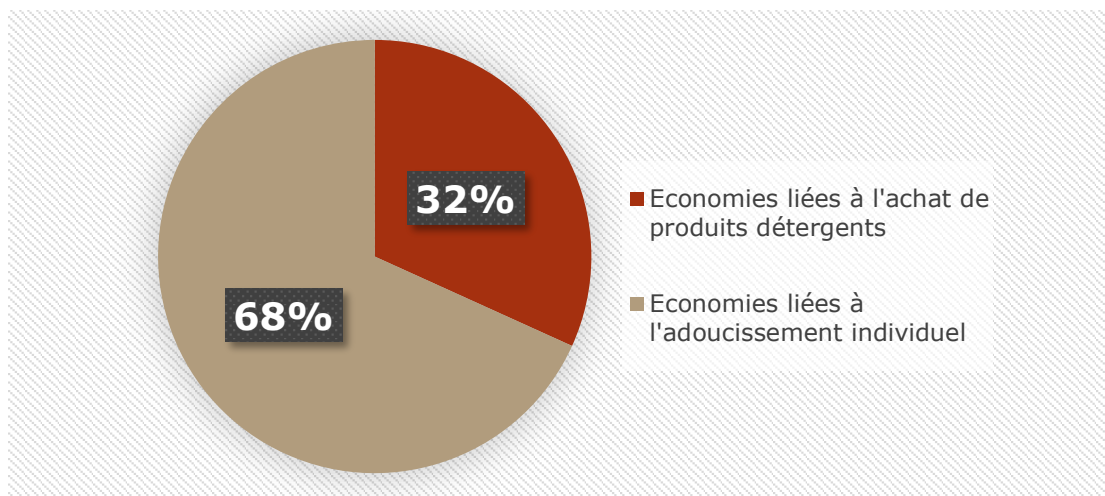


Les deux vecteurs d'impact qui arrivent quasiment à égalité dans leur importance dans la réduction des dépenses associées au poste de consommation d'eau « Hygiène personnelle » sont celui de **l'arrêt de l'adoucissement individuel (37%)** et celui de **la durée de vie des équipements (34%)**. A nouveau, cela est très cohérent avec notre modélisation : nous imputons **33% (1/3) de l'impact généré à l'adoucissement individuel à ce poste de consommation d'eau**, car l'une des raisons majeures d'utilisation d'un adoucisseur personnel est le soin du corps et des cheveux. De son côté, **l'importance du vecteur de la durée de vie des équipements est lié à l'utilisation du chauffe-eau** pour ce poste d'eau. En effet, les chauffe-eau et leur installation ont un coût significatif d'une part, et la réduction de la dureté de l'eau permet un allongement de la durée de vie de ceux-ci tout aussi significatif de l'autre, ce qui aboutit au final à un impact financier très significatif de l'augmentation de la durée de vie des chauffe-eau, qui est entièrement imputée à ce poste.

## Sanitaire

Ce poste correspond à l'usage de l'eau pour le ménage, le nettoyage des locaux et les chasse-d'eaux des WC. Il est nourri par moins d'impacts intermédiaires que les deux postes précédents : seulement par le vecteur de l'adoucissement individuel, dont on connaît l'importance financière et par le vecteur de consommation de détergents, d'où la décomposition suivante.

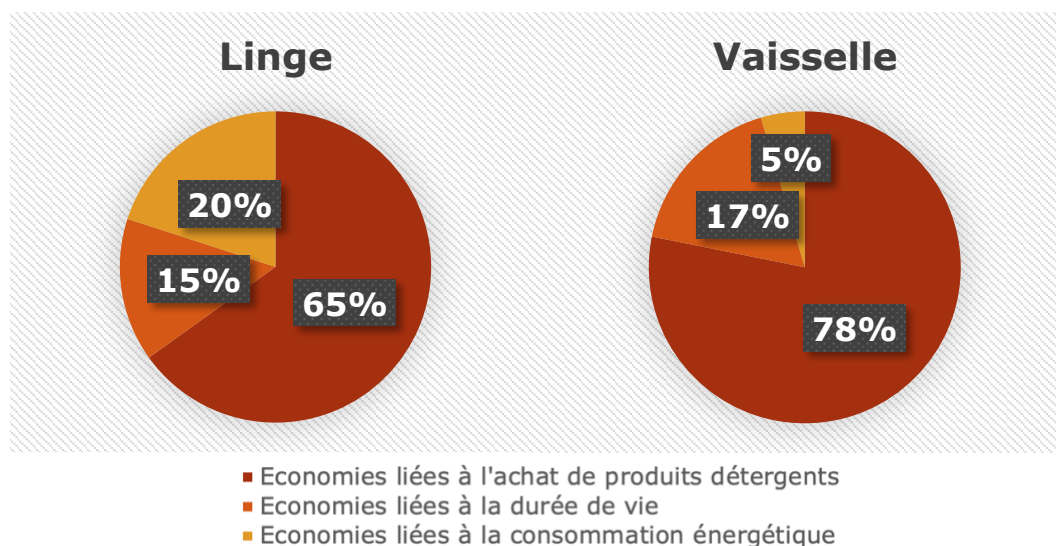
Figure 36. Décomposition par vecteur d'impact de la réduction des dépenses du poste "Sanitaire"



### Linge et Vaisselle

Nous analysons conjointement ces deux postes car ils sont nourris par les mêmes trois impacts intermédiaires, ce qui permet de faire ressortir des similitudes et des différences.

Figure 37. Décomposition par vecteur d'impact de la réduction des dépenses du poste "Linge" et du poste "Vaisselle"



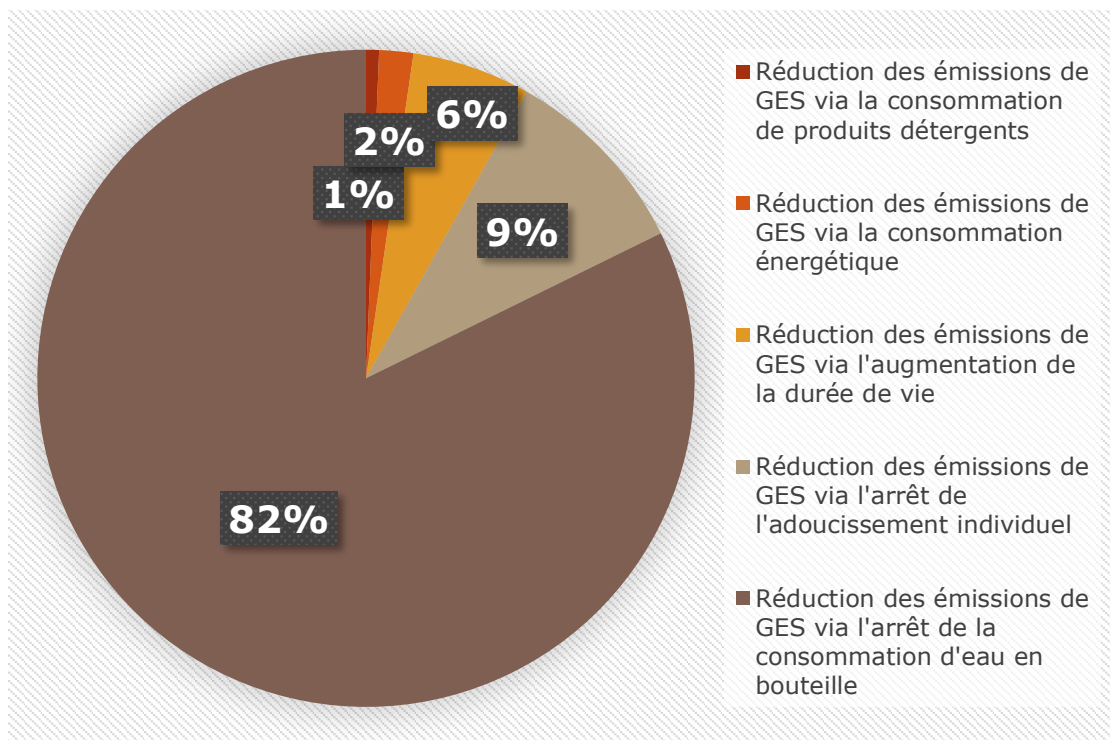
Le vecteur d'impact qui a le plus d'importance pour ces deux postes de consommation d'eau est assez logiquement celui de la **consommation de produits détergents**, avec 65% pour le poste « Linge » et 78% pour le poste « Vaisselle ». Il est cependant intéressant de noter la **différence dans l'importance du vecteur de la consommation énergétique**, qui représente 1/5 (20%) de la réduction des dépenses du poste « Linge » contre seulement 5% de celle du poste « Vaisselle ». Cela est dû à la différence d'intensité d'utilisation d'eau chaude.

## Réduction des émissions de GES

### Alimentation

Le poste de consommation d'eau « **Alimentation** » présente la décomposition par vecteur d'impact de la réduction des émissions de GES suivante :

Figure 38. Décomposition par vecteur d'impact de la réduction des émissions de GES pour le poste "Alimentation"



Ce qui saute aux yeux ici est **la prédominance de l'impact de l'arrêt de la consommation d'eau en bouteille**. Cela résulte du fait que nous imputons intermédiaire entièrement cet impact au poste « Alimentation » mais aussi du fait que **la consommation d'eau en bouteille a une empreinte carbone extrêmement élevée**, dû à la production de plastique et au transport des bouteilles.

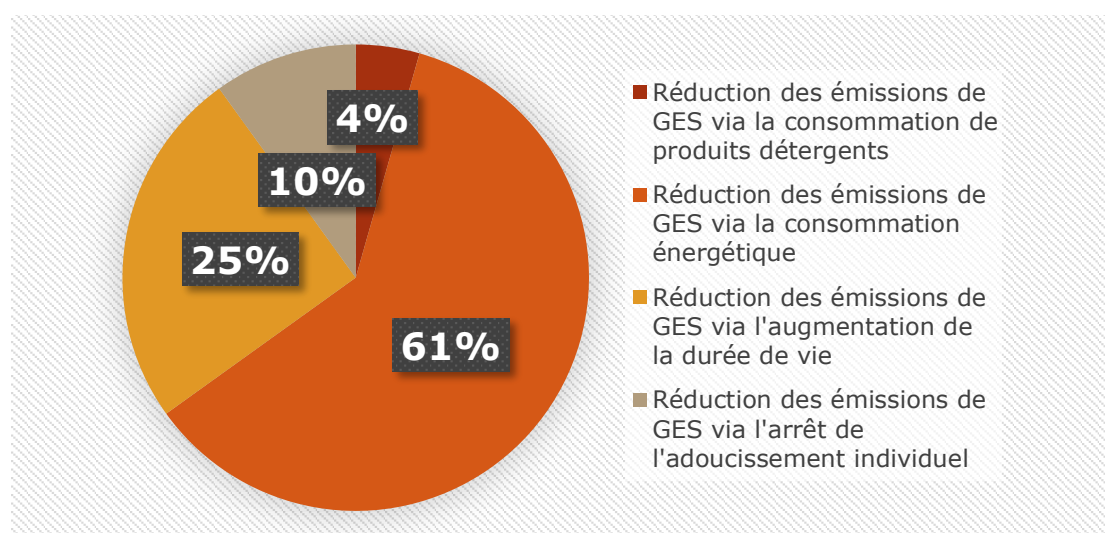
L'arrêt de la consommation d'eau en bouteille écrase totalement les autres vecteurs d'impact dont on pouvait s'attendre à voir un grand impact, comme la consommation de produits détergents et la consommation énergétique, finalement **pas parce qu'ils n'ont pas une empreinte environnementale importante mais plutôt parce qu'ils n'entrent pas beaucoup dans ce poste de consommation d'eau**.



## Hygiène personnelle

Le poste de consommation d'eau « **Hygiène personnelle** » présente la décomposition par vecteur d'impact de la réduction des dépenses suivante :

Figure 39. Décomposition par vecteur d'impact de la réduction des émissions de GES pour le poste "Hygiène personnelle"



De manière assez prévisible, le vecteur qui contribue le plus à la réduction des émissions de GES du poste « Hygiène personnelle » est celui de la **consommation énergétique (61%)**. En effet, via la **consommation d'eau chaude**, le poste « Hygiène personnelle » **utilise beaucoup d'énergie**, qui, malgré le mix énergétique français plutôt décarboné par rapport à certains de nos voisins européens, reste une source très importante d'émissions de GES (58g de CO<sub>2</sub>eq par kWh<sup>61</sup>).

Le deuxième vecteur d'impact le plus important est celui de la **durée de vie des équipements**, avec **1/4** de la réduction des émissions de GES du poste « Hygiène personnelle ». Ceci est toujours lié à l'utilisation d'eau chaude : la production de nouveaux chauffe-eaux est relativement carbonée, et l'allongement de la durée de vie de ceux-ci permet d'éviter d'en produire de nouveaux.

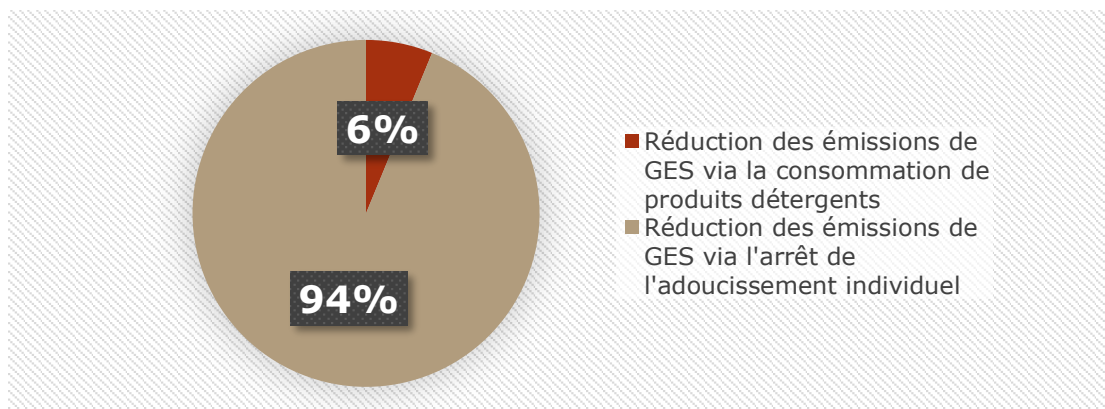
## Sanitaire

Le poste « Sanitaire » n'est toujours alimenté que par deux vecteurs d'impacts, ce qui donne ici une prépondérance très importante à celui de l'arrêt de l'adoucissement individuel.

<sup>61</sup> <https://base-empreinte.ademe.fr/donnees/jeu-donnees/77c78714-baef-3159-bc49-aca7275f9ed7/false/502b25b1-5786-419d-ac14-1daa2ea76b00>



Figure 40. Décomposition par vecteur d'impact de la réduction des émissions de GES pour le poste "Sanitaire"

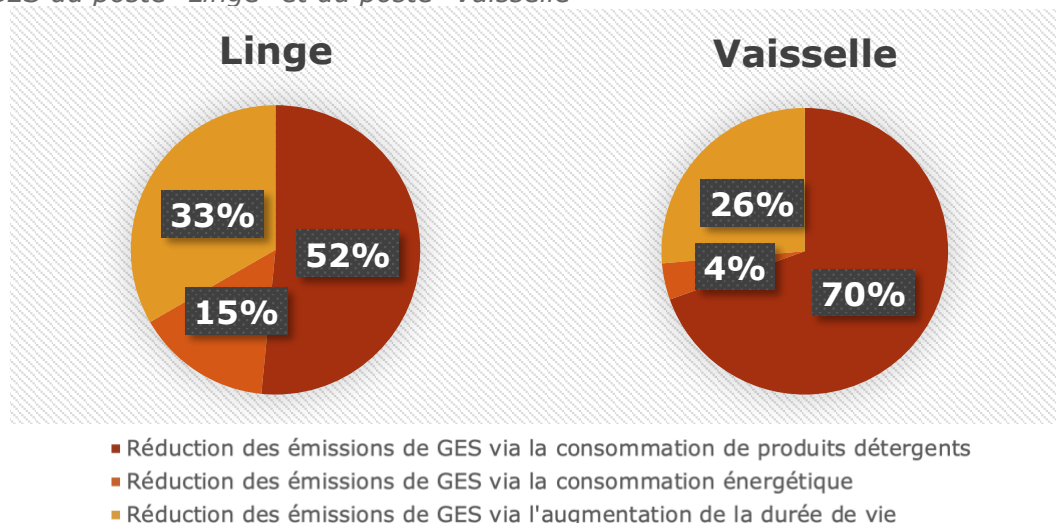


Cela n'est pas surprenant puisqu'il n'y a que deux vecteurs qui nourrissent le poste de consommation d'eau « Sanitaire » et car **l'empreinte carbone de l'adoucissement individuel est assez importante** si l'on s'intéresse aux matières premières et produits chimiques utilisés pour adoucir l'eau dans les adoucisseurs individuels, comme nous le faisons avec notre méthodologie.

### Linge et Vaisselle

A nouveau, il est intéressant de regarder la décomposition de ces deux postes en parallèle. Le vecteur de la durée de vie est le second vecteur le plus important avec des parts très similaires dans les deux cas. La consommation de produits détergents est le vecteur le plus important dans les deux cas, avec cependant un écart assez important (presque 1/5 de plus pour le poste « Vaisselle »). Il est intéressant de noter que peut-être contre-intuitivement, la consommation énergétique n'arrive qu'en 3<sup>ème</sup> position dans l'importance dans la réduction des émissions de GES.

Figure 41. Décomposition par vecteur d'impact de la réduction des émissions de GES du poste "Linge" et du poste "Vaisselle"



## B4. SENSIBILITÉ DES RÉSULTATS A LA PART DES FOYERS POSSÉDANT UN ADOUCISSEUR INDIVIDUEL

Comme indiqué dans le corps du rapport, **les résultats globaux dépendent des hypothèses faites sur la part des personnes prêts à arrêter de consommer de l'eau en bouteille et sur la part des foyers prêts à arrêter d'utiliser leur adoucisseur individuel si le projet du SEDIF est mis en œuvre.**

Nous avons étudié dans le cœur du rapport la sensibilité des résultats à la part des personnes prêts à arrêter de consommer de l'eau en bouteille : **nous étudions ici comment les résultats réagissent à une variation de la part des foyers possédant un adoucisseur individuel**, notamment parce que les impacts liés à l'arrêt de l'adoucissement individuel représentent une part importante des gains économiques générés par la réduction de la dureté de l'eau.

Nous étudions donc **la sensibilité des résultats liés à l'arrêt de l'adoucissement individuel** pour une part des ménages possédant un adoucisseur à 15%, que nous avons trouvé dans une publication de l'Union des professionnels de traitement de l'eau<sup>62</sup>, et pour une part à -4 points de pourcentage par rapport à 11% afin d'étudier la symétrie.

Tableau 65. Étude de la sensibilité des impacts liés à l'adoucissement individuel, à la part de foyers possédant un adoucisseur, pour une dureté finale de 10°f

PART MENAGE AVEC UN ADOUCISSEUR	15%	11%	7%
<b>Réduction des émissions de GES (CO<sub>2</sub>eq/an)</b>			
<b>Générée par tous les foyers qui arrêtent l'adoucissement indiv</b>	16 kt	12 kt	8 kt
<b>Pour un foyer moyen après équi-répartition de la réduction totale</b>	9,4 kg	6,9 kg	4,4 kg
<b>Réduction des dépenses (€/an)</b>			
<b>Générée par tous les foyers qui arrêtent l'adoucissement indiv</b>	169 M€	124 M€	79 M€
<b>Pour un foyer moyen après équi-répartition de la réduction totale</b>	96,5 €	70,8 €	45,0 €

<sup>62</sup> <https://uae.fr/le-traitement-de-leau-de-a-a-z/qualite-de-leau-en-france/tendances-du-marche-du-traitement-de-leau/>

## C. ANALYSES DES FACTEURS D'IMPACT SANITAIRES

Notre étude se concentre sur l'étude des impacts environnementaux et socio-économiques. Ici, nous souhaitons développer un peu les impacts sanitaires, que l'on ne peut aborder que d'un point de vue qualitatif, en faisant une sorte de revue de la littérature scientifique sur le sujet. 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.

### C0. Les indicateurs des impacts sanitaires

Les indicateurs employés dans l'évaluation des impacts sanitaires et leurs descriptions sont détaillés dans le tableau suivant.

Impacts sanitaires	
Indicateurs	Description / pertinence
Besoins en minéraux	<p>La décarbonatation de l'eau, bien qu'ayant pour objectif de réduire la dureté, peut également affecter la concentration en minéraux essentiels comme le calcium, le magnésium et le sodium. Ces minéraux jouent un rôle important pour la santé humaine, bien que l'eau ne soit qu'une source mineure de ces éléments par rapport à l'alimentation. Les apports journaliers recommandés en calcium, par exemple, sont de 930 mg chez les adultes et de 838 mg chez les enfants, majoritairement fournis par les produits laitiers et d'autres aliments riches en calcium.</p> <p>La décarbonatation pourrait entraîner une diminution de l'apport en minéraux via l'eau, mais cette réduction serait négligeable. Une diminution de la dureté de l'eau de 5°f n'entraînerait qu'une baisse de 3 % des apports en minéraux via l'eau potable. En effet, même si l'eau dure contribue à l'apport en calcium et en magnésium, ces contributions restent faibles. Par exemple, dans une eau avec une teneur de 40 mg/L de calcium (équivalent à 10°f), la consommation d'un litre d'eau fournirait environ 4 % des besoins journaliers en calcium, une proportion bien inférieure à celle apportée par l'alimentation.</p> <p>Pour le magnésium, si on prend un homme de 70 kilos qui consomme 1L d'eau du robinet par jour à 10°f, 6% des besoins journaliers seraient couverts.</p> <p>Cependant, bien que l'impact sur la santé humaine de la décarbonatation soit minime en termes de réduction des apports minéraux, la composition de l'eau doit être surveillée pour éviter des déséquilibres trop importants. Une eau trop douce, sans une reminéralisation adéquate après la décarbonatation, pourrait devenir agressive et corrosive pour les canalisations. Cela pose des risques non seulement pour les infrastructures de distribution d'eau, mais également pour la qualité de l'eau consommée, en raison de la dissolution potentielle de métaux comme le plomb ou le cuivre des canalisations.</p> <p>Sources :</p> <p><a href="https://zerowater.fr/centre-de-connaissances-zerowater/le-calcaire-dans-leau-du-robinet/">https://zerowater.fr/centre-de-connaissances-zerowater/le-calcaire-dans-leau-du-robinet/</a></p> <p><a href="https://www.im2s.mc/la-nutrition-adolescent-en-4-points/">https://www.im2s.mc/la-nutrition-adolescent-en-4-points/</a></p> <p><a href="https://www.julienvenesson.fr/la-verite-sur-les-besoins-en-calcium/">https://www.julienvenesson.fr/la-verite-sur-les-besoins-en-calcium/</a></p> <p><a href="https://www.magnesium-cooper.fr/articles/besoins-en-magnesium">https://www.magnesium-cooper.fr/articles/besoins-en-magnesium</a></p> <p><a href="https://www.laboratoire-lescuyer.com/blog/nos-conseils-sante/le-top-des-aliments-riches-en-magnesium?srsItd=AfmBOorvKiCRreuHH_v8DLMKujiS4Ajief9kzIy1ZxcGFb0FBdCNixK">https://www.laboratoire-lescuyer.com/blog/nos-conseils-sante/le-top-des-aliments-riches-en-magnesium?srsItd=AfmBOorvKiCRreuHH_v8DLMKujiS4Ajief9kzIy1ZxcGFb0FBdCNixK</a></p>

Z

**Dissolution des métaux lourds**

La mise en place de la décarbonatation collective peut jouer un rôle crucial dans la réduction du risque de dissolution des métaux lourds, notamment le plomb et le cuivre, dans les réseaux de distribution d'eau. En effet, la solubilité de ces métaux diminue avec une augmentation de la teneur en ions hydrogénocarbonate ( $\text{HCO}_3^-$ ), lesquels sont directement liés à la dureté de l'eau. Cependant, lorsque la dureté (TH) et l'alcalinité (TAC) de l'eau sont trop faibles, l'eau devient agressive et corrosive, ce qui favorise la dissolution des métaux présents dans les canalisations. Cette dissolution est préoccupante car les métaux lourds tels que le plomb et le cuivre sont toxiques et présentent des risques significatifs pour la santé humaine.

La solubilité du plomb est particulièrement sensible aux variations de la composition chimique de l'eau. Pour limiter la dissolution de ce métal, il est recommandé de maintenir un pH supérieur à 8, une alcalinité supérieure à 8°f et une dureté calcique (THCa) également supérieure à 8°f. Cette règle, souvent appelée la « règle des 3 x 8 », sert de référence pour la reminéralisation des eaux douces. Lorsque l'eau est trop douce ou mal équilibrée, elle tend à devenir corrosive. Ce phénomène est accentué par la faible concentration d'ions hydrogénocarbonate, lesquels jouent un rôle protecteur en limitant l'agressivité de l'eau. En l'absence de cette protection, l'eau dissout les métaux des canalisations, notamment le plomb, le cuivre, le fer et le zinc, augmentant ainsi les risques de contamination.

Étant donné que la teneur en eau du SEDIF est à 10°f, ces normes sont respectées. Il conviendra au consommateur de se renseigner sur le pH de l'eau ainsi que sur la dureté calcique.

L'effet sanitaire de cette dissolution est particulièrement préoccupant dans le cas du plomb, car même à faible concentration, il présente un danger important pour la santé publique. L'exposition prolongée à de l'eau contaminée par du plomb peut entraîner des troubles neurologiques sévères, notamment chez les enfants, ainsi que des maladies rénales chez les adultes. Les normes internationales, notamment celles de l'Organisation mondiale de la santé (OMS) et de l'Union européenne, limitent la teneur maximale en plomb dans l'eau potable à 10 µg/L, seuil qui pourrait être facilement dépassé si l'eau est insuffisamment reminéralisée après un processus de décarbonatation. De même, les concentrations de cuivre dans l'eau potable ne doivent pas excéder 2 mg/L, afin d'éviter des effets toxiques, notamment des troubles gastro-intestinaux et des lésions hépatiques.

La clé pour éviter la corrosion des canalisations et la dissolution des métaux lourds réside dans la gestion minutieuse des paramètres de traitement de l'eau. La reminéralisation est une étape indispensable après la décarbonatation, afin de restaurer la teneur en ions qui empêchent l'eau d'être corrosive. Il s'agit d'un processus technique qui doit être précisément calibré pour garantir que l'eau traitée reste conforme aux normes sanitaires. Sans cette étape, les bénéfices de la décarbonatation risquent d'être contrebalancés par une dégradation de la qualité de l'eau potable due à la contamination métallique.

Enfin, il est recommandé aux particuliers d'avoir un contrôle continu du pH, du TAC et de la dureté permet d'ajuster rapidement les processus de traitement en cas de déséquilibre, afin de

	<p>prévenir la corrosion des infrastructures et la dissolution des métaux lourds.</p> <p><u>Sources :</u></p> <p><a href="https://www.eaushop-piscine.com/blog/news/lequilibre-de-leau">https://www.eaushop-piscine.com/blog/news/lequilibre-de-leau</a></p> <p><a href="https://www.acti-chemical.com/fr/actu-blog/l-equilibre-de-l-eau">https://www.acti-chemical.com/fr/actu-blog/l-equilibre-de-l-eau</a></p> <p><a href="https://culturesciences.chimie.ens.fr/thematiques/chimie-inorganique/chimie-de-coordination/facteurs-influencant-la-concentration-en">https://culturesciences.chimie.ens.fr/thematiques/chimie-inorganique/chimie-de-coordination/facteurs-influencant-la-concentration-en</a></p> <p><a href="https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32020L2184">https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32020L2184</a></p> <p><a href="https://sante.gouv.fr/sante-et-environnement/eaux/article/eau-et-plomb">https://sante.gouv.fr/sante-et-environnement/eaux/article/eau-et-plomb</a></p>
<p>Perturbation du fonctionnement de l'organisme via l'apport en sodium</p>	<p>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.</p> <p>A 10°f, ces personnes sensibles ne devraient pas boire plus de 8L d'eau du robinet par jour afin de limiter leur consommation en sodium. Cette consommation étant impossible, la santé des consommateurs plus fragiles est donc épargnée à 10°f.</p> <p><u>Sources :</u></p> <p><a href="https://www.cieau.com/blog/adoucir-leau-du-sel-en-plus/">https://www.cieau.com/blog/adoucir-leau-du-sel-en-plus/</a></p> <p><a href="https://pugh.be/faq/quelles-sont-les-quantites-de-sodium-dans-leau-adoucie/">https://pugh.be/faq/quelles-sont-les-quantites-de-sodium-dans-leau-adoucie/</a></p> <p><a href="https://www.culligan.fr/conseils/le-sodium-present-dans-eau-adoucie-est-il-dangereux-pour-la-sante/">https://www.culligan.fr/conseils/le-sodium-present-dans-eau-adoucie-est-il-dangereux-pour-la-sante/</a></p>
<p>Formation de tartre et développement de micro-organismes</p>	<p>La formation de tartre due à la dureté de l'eau est un facteur clé dans le développement de microorganismes pathogènes. Lorsque l'eau est dure, des dépôts de tartre créent un environnement favorable à la prolifération de microorganismes, car ils fournissent une surface rugueuse où les biofilms bactériens peuvent s'ancrer et se développer.</p> <p>Lorsque la dureté de l'eau augmente de 10°f à 30°f, le potentiel de précipitation du calcaire (CCPP) augmente de manière exponentielle, passant de 34,27 à 85,02.</p> <p>A 10°f, la formation de tartre est donc modérée mais peut déjà favoriser l'adhésion des biofilms bactériens sur les surfaces internes des canalisations.</p> <p>Ce phénomène accentue le risque de développement de pathogènes dans les canalisations, car le tartre sert de milieu de culture idéal pour divers microorganismes. Les bactéries, telles que Legionella, Pseudomonas, et d'autres germes pathogènes, trouvent dans ces dépôts un environnement protecteur qui favorise leur croissance et leur multiplication.</p> <p>Le tartre ne se limite pas à un simple problème esthétique ou d'efficacité énergétique. En effet, en obstruant les canalisations et en diminuant la circulation de l'eau, il crée des zones de stagnation, qui sont particulièrement propices au développement des biofilms. Ces biofilms peuvent non seulement contenir des bactéries potentiellement dangereuses pour la santé humaine, mais aussi protéger ces bactéries contre les traitements chimiques et thermiques, compliquant ainsi leur élimination.</p> <p>Cette situation est d'autant plus préoccupante dans les systèmes où l'entretien des canalisations est irrégulier, ou dans les zones où l'eau stagne, ce qui aggrave encore les risques de prolifération des pathogènes.</p>

	<p><u>Sources :</u></p> <p><a href="https://www.aqua-free.com/fr/journal/qu-est-ce-qu-un-biofilm">https://www.aqua-free.com/fr/journal/qu-est-ce-qu-un-biofilm</a></p> <p><a href="https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3962273/">https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3962273/</a></p>
<p>Problèmes cutanés</p>	<p>L'eau dure entraîne la formation de dépôts de savon insolubles sur la peau, causés par la présence de calcium et de magnésium, qui réagissent avec les acides gras du savon. Ces dépôts perturbent la barrière protectrice naturelle de la peau, provoquant diverses affections cutanées comme l'eczéma, la peau sèche et les irritations, particulièrement chez les personnes à peau atopique. Cette altération de la barrière cutanée accroît également la sensibilité de la peau aux allergènes et irritants extérieurs.</p> <p>Une augmentation de 6,5 °f de la dureté de l'eau a été associée à une réduction de 1,5 % de la prévalence de l'eczéma. Ce chiffre montre une relation inverse entre la dureté de l'eau et la santé cutanée.</p> <p>Les dépôts de savon insolubles formés par l'eau dure aggravent les démangeaisons et les inflammations, perturbant l'hydratation et l'équilibre du pH de la peau, deux facteurs essentiels pour maintenir une barrière cutanée saine.</p> <p>Environ 451 cas d'eczéma pour 10 000 personnes peuvent être directement attribués à l'exposition à l'eau dure au Royaume-Uni, ce qui démontre l'ampleur de l'impact.</p> <p>Une augmentation de 50 mg/L de carbonate de calcium (CaCO<sub>3</sub>) dans l'eau est liée à une augmentation de 2 % du risque d'eczéma. Lorsque la concentration de CaCO<sub>3</sub> dépasse 200 mg/L, le risque d'eczéma augmente de 12 % par rapport à une eau avec une concentration inférieure à ce seuil. A 10°f, ce risque est significativement plus faible, bien que la formation de dépôts de savon puisse toujours provoquer une légère altération de la barrière cutanée, en particulier chez les personnes à peau sensible.</p> <p>Les études montrent que les enfants sont particulièrement vulnérables aux effets de l'eau dure. Une étude menée sur une population pédiatrique a révélé que les enfants vivant dans des régions avec une eau dure (supérieure à 200 mg/L de CaCO<sub>3</sub> soit 20°f) avaient un risque accru de 20 % de développer de l'eczéma par rapport à ceux vivant dans des régions avec une eau plus douce.</p> <p>Chez les adultes, une étude indique qu'environ 8 % de la population souffrant d'eczéma pourrait voir leurs symptômes aggravés ou déclenchés par une exposition à une eau dure.</p> <p>Une réduction de 10 % de la dureté pourrait entraîner une diminution proportionnelle de 5 % des cas d'eczéma dans certaines populations sensibles.</p> <p><u>Sources :</u></p> <p><a href="https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9804584/">https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9804584/</a></p> <p><a href="https://www.medicalnewstoday.com/articles/hard-water-and-eczema">https://www.medicalnewstoday.com/articles/hard-water-and-eczema</a></p> <p><a href="https://nationaleczema.org/blog/hard-water-eczema/">https://nationaleczema.org/blog/hard-water-eczema/</a></p>
<p>Développement de pathogènes dans les adoucisseurs individuels</p>	<p>Le développement de pathogènes dans les adoucisseurs individuels résulte souvent d'un entretien insuffisant ou d'une mauvaise utilisation de ces appareils. En l'absence de maintenance régulière, les filtres peuvent devenir des environnements favorables à la prolifération de microorganismes, ce qui augmente les risques de contamination de l'eau traitée. Ce phénomène est amplifié lorsque l'eau stagne dans l'adoucisseur ou lorsque l'appareil atteint la fin de son cycle de vie. Les adoucisseurs</p>

individuels, équipés de résines cationiques ou échangeuses d'ions, nécessitent des cycles de régénération et de désinfection fréquents pour éviter une accumulation bactérienne.

À 10°f, l'eau est modérément dure et le développement de pathogènes reste limité sauf dans certaines conditions physiques (température notamment).

En effet, les conditions de prolifération microbienne concernent à la fois les germes à 22°C et à 37°C, et les rapports d'accroissement peuvent aller de 1 à 500, selon les conditions. Parmi les pathogènes potentiels, les oocystes de *Cryptosporidium*, dont la taille varie entre 4 et 6 µm, sont particulièrement préoccupants. Ces oocystes peuvent être retenus par des filtres dont le seuil de coupure est inférieur ou égal à 1 µm, augmentant ainsi le risque de contamination de l'eau potable. Si les résines ne sont pas correctement régénérées, elles deviennent un environnement propice à la multiplication de ces germes et autres contaminants, ce qui accroît encore le risque de pollution de l'eau distribuée.

Les *Cryptosporidium*, en particulier, résistent à certains procédés de désinfection comme le chlore, ce qui rend leur élimination difficile et pose un risque accru d'infections gastro-intestinales pour les utilisateurs de l'eau contaminée. Bien que les niveaux de contamination bactériologique observés dans les adoucisseurs mal entretenus ne soient souvent pas suffisants pour provoquer des pathologies graves chez la plupart des utilisateurs, une exposition prolongée à des eaux mal traitées, surtout chez les populations vulnérables (enfants, personnes âgées ou immunodéprimées), peut présenter des risques sanitaires importants.

Sources :

[https://www.hcsp.fr/Explore.cgi/Telecharger?NomFichier=a\\_e\\_041005\\_contamination.pdf](https://www.hcsp.fr/Explore.cgi/Telecharger?NomFichier=a_e_041005_contamination.pdf)

## C1. Les impacts de l'eau sur la santé humaine

La **dureté** de l'eau, mesurée en °f (*degrés français*), reflète sa concentration en calcium et magnésium. Si une eau dure (>30 °f) peut présenter des bénéfices pour certaines pathologies, elle est également associée à des **risques** spécifiques, notamment pour la **santé cutanée**.

On estime que **451** cas d'eczéma pour **10 000** personnes au Royaume-Uni peuvent être attribués à l'exposition à l'eau dure. Dans les régions où l'eau dépasse **30 °f**, des études montrent une augmentation notable des maladies cutanées, notamment l'eczéma. Une étude britannique (2022) révèle que les enfants vivant dans des zones où la dureté excède **200 mg/L** de calcium ont **50 %** plus de risques de développer une **dermatite** atopique avant cinq ans. Le mécanisme repose sur la réaction des ions calcium avec les savons et détergents, formant des dépôts insolubles (*stéarate de calcium*). Ces **résidus irritent** la peau, perturbent la barrière hydrolipidique et augmentent la perte **d'hydratation**, rendant la peau plus **vulnérable** aux **allergènes** et aux irritations. D'autres affections, comme la **kératose pileaire** ou l'aggravation du **psoriasis**, sont également fréquentes dans les zones où la dureté dépasse **250 mg/L**, affectant particulièrement les enfants et les personnes âgées, dont la peau est plus sensible ou fragilisée.

Cependant, l'effet protecteur n'est pas uniforme. Une étude iranienne (2013) a montré que dans la province d'**Ispahan**, les taux de maladies cardiovasculaires diminuaient significativement dans les zones urbaines avec une dureté de l'eau supérieure à **70 mg/L** de calcium et **30 mg/L** de magnésium. Ces résultats soulignent l'importance de maintenir la dureté dans une plage optimale, tout en tenant compte des spécificités régionales.



En revanche, des études internationales ont montré des **effets protecteurs** de l'eau dure sur les **maladies cardiovasculaires**, notamment grâce à la présence de magnésium. Une étude menée en Suède (2013) a mis en évidence une réduction de **10 à 20 %** de la mortalité liée aux maladies coronariennes dans des régions où la dureté dépasse **40 °f**. Le magnésium agit comme un **vasodilatateur**, aidant à réguler la **pression artérielle** et à prévenir la calcification des tissus mous. Une teneur optimale, comprise entre **30 et 40 mg/L (7-10 °f)**, est associée à ces bénéfices.

Cependant, une dureté élevée (>50 °f) peut également augmenter le risque de **lithiase urinaire** en raison des dépôts de calcium. Cet effet reste toutefois modéré comparé aux bénéfices cardiovasculaires.

Ainsi, les utilisateurs du **SEDIF**, avec une eau à 10°f, sont **épargnés des risques cutanés** associés à une eau dure. Les études concernent des régions (Royaume-Uni, Iran) où l'eau est très dure (> 30°f). A **10°f**, les dépôts de savons insolubles qui perturbent la barrière cutanée restent limitée, réduisant ainsi les irritations et le risque d'eczéma. C'est pourquoi cette dureté modérée représente un **équilibre** pour la peau tout en maintenant une teneur en minéraux suffisante pour éviter les effets d'une eau trop déminéralisée.

Sources :

The association between domestic hard water and eczema in adults from the UK Biobank cohort study – 2022

Does Water Hardness Have Preventive Effect on Cardiovascular Disease? – 2013

Potential Health Impacts of Hard Water - Pallav Sengupta – 2013

## C2. Les impacts de l'eau sur la santé animale

Avec environ **50 %** des **foyers** français possédant un **animal** de compagnie (*14 millions de chats et 8 millions de chiens*), et une **industrie** de l'élevage dépendant **fortement** de la **santé** animale, la **qualité** de l'eau, en particulier sa dureté, devient un **facteur** déterminant. Plusieurs études mettent en lumière les **impacts négatifs** d'une eau dure sur l'**efficacité** des **traitements** vétérinaires.

Une étude réalisée au Maroc (*El Hraiki et al., 2020-2021*) a analysé l'impact de la dureté de l'eau dans des élevages avicoles de régions où la dureté dépassait **70 °f**, bien au-delà de la limite recommandée de **50 °f**. Les résultats ont montré que la **solubilité** de **médicaments** comme la **doxycycline** diminuait drastiquement, réduisant leur efficacité dans le traitement des **infections respiratoires** et gastro-intestinales.

Un mécanisme similaire a été documenté pour les animaux domestiques : les **ions calcium** et magnésium dans l'eau dure (> 50 °f) forment des complexes insolubles avec les **antibiotiques** tels que la colistine et la **doxycycline**. Une analyse européenne (2018) a constaté que **70 %** des échantillons d'eau dure testés diminuaient l'efficacité de ces médicaments, compromettant leur **biodisponibilité** et augmentant les risques de résistances bactériennes.

En élevage **avicole**, l'impact d'une eau dure dépasse la santé **individuelle** des **animaux** et touche à la **productivité** globale. Une étude belge (*Heers-Gingelom, 2009*) a mis en évidence que dans les régions où la dureté de l'eau atteignait **47-50 °f**, l'inefficacité des traitements antibiotiques entraînait des pertes économiques **significatives**. La réduction de la dureté à **15 °f** grâce à un **réacteur à pellets** a permis d'améliorer la **santé animale** et d'optimiser les traitements.

Bien que les études se concentrent principalement sur l'élevage, les **animaux** de compagnie subissent également les effets de **l'eau dure**. Une étude britannique (2022) a montré que la réduction de la dureté



de l'eau pour atteindre une **valeur** modérée (15-20 °f) améliore l'efficacité des **traitements** vétérinaires, en particulier pour les **affections** chroniques.

Ainsi, les usagers du SEDIF, avec une dureté de 10°f, sont **épargnés** des impacts **négatifs** de l'eau sur la santé animale, ce qui garantit une bonne **solubilité** des **traitements** vétérinaires pour les animaux de compagnie et d'élevage.

Les propriétés d'animaux n'ont donc **pas** à **s'inquiéter** d'une éventuelle **réduction** de l'**efficacité** des traitements vétérinaires liée à la dureté de l'eau.

Sources :

The association between domestic hard water and eczema in adults from the UK Biobank cohort study – 2022

Cost-benefit analysis of central softening for production of drinking water – 2009

Qualité de l'eau de boisson et impact sur la solubilité des médicaments vétérinaires en aviculture - A.

EL HRAIKI, A. MAROUANE, H. LAMHAOUS, M. BENGOUNI - 2021

# INDEX DES TABLEAUX

Tableau 1. Usagers et volumes des usines concernées par l'étude, Configuration 2 .....	3
Tableau 2. Volume consommé par type d'usagers et usine (m3), Configuration 2 .....	3
Tableau 3. Comparaison de la répartition des postes de consommation d'eau Baromètre CIEAU 2017 vs article Gombert-Courvoisier et al.....	10
Tableau 4. Répartition des volumes des différents types d'usagers par postes de consommation (la même est utilisée pour les deux configurations) .....	11
Tableau 5. Volumes consommés par postes et par usine, Configuration 2 .....	11
Tableau 6. Alimentation des postes de consommation par les impacts intermédiaires .....	13
Tableau 7. Duretés initiales et finales par usines .....	13

Tableau 8. Données danoises converties pour le calcul des facteurs de corrélation .....	15
Tableau 9. Données WQRF converties pour le calcul de facteurs de corrélation .....	17
Tableau 10. Décomposition de l'empreinte carbone de la lessive entre lessive en poudre et lessive liquide .....	21
Tableau 11. Décomposition de l'empreinte carbone de fabrication et du prix d'une machine à café.....	22
Tableau 12. Impacts finaux pour l'ensemble du territoire desservi par le SEDIF dans la Configuration 1 (4M d'usagers), pour les 3 scénarios de dureté .....	33
Tableau 13. Réduction des dépenses pour l'ensemble du territoire desservi par le SEDIF (Configuration 1 : 4M d'usagers), pour les 3 duretés finales possibles.....	35
Tableau 14. Réduction des émissions de GES pour l'ensemble du territoire desservi par le SEDIF (Configuration 1 : 4M d'usagers), pour les 3 duretés finales possibles .....	37
Tableau 15. Répartition des impacts finaux par catégorie d'usagers, pour la dureté finale de 10°f, Configuration 1 (4M d'usagers).....	39
Tableau 16. Répartition de la réduction des dépenses par vecteurs d'impact et catégorie d'usagers, dureté finale de 10°f, Configuration 1 (4M d'usagers).....	39
Tableau 17. Répartition de la réduction des émissions de GES par vecteur d'impact et par catégorie d'usagers, dureté finale de 10°f, Configuration 1 (4M d'usagers).....	39
Tableau 18. Répartition des impacts finaux par poste de consommation, pour une dureté finale de 10°f, Configuration 1 (4M d'usagers) .....	42
Tableau 19. Répartition de la réduction des dépenses par vecteur d'impact et par poste de consommation, dureté finale de 10°f, Configuration 1 (4M d'usagers).....	42
Tableau 20. Répartition de la réduction des émissions de GES par vecteur d'impact et poste de consommation, dureté finale de 10°f, Configuration 1 (4M d'usagers).....	42
Tableau 21. Réduction de la consommation de produits d'entretien, pour un foyer moyen desservi par le SEDIF, par appareil ménager et par dureté finale.....	43

Tableau 22. Réduction de la consommation de produits d'entretien, sur tout le territoire desservi par le SEDIF (4M), pour appareil ménager et par dureté finale.....	44
Tableau 23. Réduction de la consommation énergétique, pour un foyer moyen desservi par le SEDIF, par appareil ménager et par dureté finale.....	46
Tableau 24. Réduction de la consommation énergétique, sur tout le territoire desservi par le SEDIF, pour appareil ménager et par dureté finale.....	47
Tableau 25. Impact sur la durée de vie des appareils utilisés par les foyers desservis par le SEDIF, pour les 3 scénarios de dureté finale .....	49
Tableau 26. Impacts générés par l'arrêt de la consommation d'eau en bouteille pour un foyer, par type de foyer et par dureté finale .	50
Tableau 27. Impacts générés par l'arrêt de la consommation d'eau en bouteille de 24,4% des foyers (Configuration 1 : 1,8M de foyers), par dureté finale .....	51
Tableau 28. Étude de la sensibilité des résultats à la part des personnes prêtes à arrêter la consommation d'eau en bouteille (Configuration 1 : 1,8M de foyers) .....	52
Tableau 29. Impacts générés par l'arrêt de l'adoucissement individuel pour un foyer, par type de foyer et par dureté finale....	53
Tableau 30. Impacts générés par l'arrêt de la consommation d'eau en bouteille de 11% des foyers (Configuration 1, 437 567 de foyers), par dureté finale .....	54
Tableau 31. Réduction des dépenses pour un foyer, par type de foyer et par dureté finale .....	56
Tableau 32. Réduction des dépenses pour un foyer moyen, par vecteur d'impact (Configuration 1 : 1,8M de foyers), pour les 3 duretés finales possibles.....	58
Tableau 33. Réduction des émissions de GES pour un foyer, par type de foyer et par dureté finale .....	59
Tableau 34. Balance coûts-bénéfices pour un foyer moyen du territoire desservi par le SEDIF, pour la dureté finale de 10°f.....	62
Tableau 35. Valeurs absolues de la durée de vie, de la consommation énergétique et de la consommation de produits détergents pour une dureté de 10°f.....	65

Tableau 36. Impacts intermédiaires de la réduction de la dureté de l'eau à 10°f, pour un foyer moyen.....	65
Tableau 37. Impacts intermédiaires spécifiques de la réduction de la dureté de l'eau à 10°f, pour un foyer qui en bénéficie directement et pour un foyer moyen .....	66
Tableau 38. Impacts finaux de la réduction de la dureté de l'eau à 10°f, selon le type de foyer.....	67
Tableau 39. Impacts finaux de la réduction de la dureté de l'eau à 10°f pour l'ensemble des territoires du SEDIF .....	67
Tableau 40. Extrait de la table 1 de l'article (Godskesen, et al., 2012).....	73
Tableau 41. Part des postes de consommation avant/après répartition de la part du poste jardin/véhicule .....	87
Tableau 42. Usagers et volumes des usines de l'étude, Configuration 1 .....	87
Tableau 43. Volumes consommés par type d'usagers et par usine, Configuration 1 .....	88
Tableau 44. Volumes consommés par postes et par usine, Configuration 1 .....	88
<i>Tableau 45. Distribution des impacts intermédiaires dans les postes de consommation.....</i>	<i>89</i>
Tableau 46. Données de corrélation entre la dureté de l'eau et la durée de vie, la consommation énergétique et la consommation de produits détergents de l'étude Godskesen et al.....	90
Tableau 47. Couverture et fréquences d'utilisation des appareils ménagers pour la conversion des données danoises en données françaises .....	91
Tableau 48. Sources de données de couverture et de fréquences d'utilisation .....	92
Tableau 49. Données de corrélation entre la dureté de l'eau et la consommation énergétique et durée de vie des chauffe-eaux.....	94
Tableau 50. Données de corrélation entre la dureté de l'eau et la consommation énergétique d'un lave-linge .....	95
Tableau 51. Décomposition de l'empreinte carbone du savon, entre savon solide et savon liquide .....	101
Tableau 52. Décomposition de l'empreinte carbone d'un an d'utilisation d'un adoucisseur individuel .....	101

Tableau 53. Etude de marché des prix à l'achat des équipements ménagers .....	102
Tableau 54. Empreintes carbone des sources d'énergie .....	103
Tableau 55. Empreintes carbone des produits détergents et de l'eau en bouteille .....	103
Tableau 56. Empreintes carbone de fabrication des appareils ménagers .....	104
Tableau 57. Empreintes carbone des consommables pour adoucisseurs .....	104
Tableau 58. Prix des sources d'énergie pour les usagers.....	105
Tableau 59. Prix des différents consommables utilisés dans les calculs des impacts finaux.....	105
Tableau 60. Prix à l'achat des appareils ménagers, retenus après étude de marché pour chaque catégorie .....	106
Tableau 61. Comparaison de nos résultats avec ceux de l'étude In Extenso .....	114
Tableau 62. Comparaison de la sensibilité des résultats à la dureté finale effective, avec celle de l'étude d'In Extenso .....	116
Tableau 63. Comparaison des taux d'accroissement entre 8°f et 10°f, et 10°f et 12°f, avec ceux de l'étude d'In Extenso .....	118
Tableau 64. Impacts finaux par usine, pour la dureté finale de 10°f .....	119
Tableau 65. Étude de la sensibilité des impacts liés à l'adoucissement individuel, à la part de foyers possédant un adoucisseur, pour une dureté finale de 10°f .....	127

# INDEX DES FIGURES

Figure 1. Répartition des volumes d'eau distribués par le SEDIF par usine, Configuration 2 .....	4
Figure 2. Répartition des volumes d'eau distribués par le SEDIF par types d'usagers considérés dans notre étude, Configuration 2 .....	4
Figure 3. Étapes de la méthodologie de l'étude .....	6
Figure 4. Structure des impacts considérés .....	7
Figure 5. Répartition des volumes distribués par poste de consommation d'eau .....	12
Figure 6. Matrice des 5 types de foyers différents .....	29
Figure 7. Répartition de la réduction totale des dépenses pour tout le territoire desservi par le SEDIF, par impact intermédiaire, pour une dureté finale de 10°f.....	34
Figure 8. Répartition de la réduction totale des émissions de GES pour le territoire desservi par le SEDIF, par impact intermédiaire, pour une dureté finale de 10°f.....	36
Figure 9. Répartition des impacts finaux par catégorie d'usagers .	38
Figure 10. Répartition de la réduction globale des dépenses, par poste de consommation.....	40
Figure 11. Répartition de la réduction globale des émissions de GES, par poste de consommation .....	40

Figure 12. Réduction de la consommation de produits d'entretien pour un foyer moyen du territoire desservi par le SEDIF, par appareil ménager et par dureté finale .....	45
Figure 13. Répartition de la réduction de la consommation de produits d'entretien pour un foyer moyen du territoire desservi par le SEDIF, par appareil ménager pour la dureté finale de 10°f .....	45
Figure 14. Réduction de la consommation énergétique pour un foyer moyen du territoire desservi par le SEDIF, par appareil ménager et par dureté finale .....	48
Figure 15. Répartition de la réduction de la consommation énergétique pour un foyer moyen du territoire desservi par le SEDIF, par appareil ménager pour la dureté finale de 10°f .....	48
Figure 16. Augmentation de la durée de vie pour un foyer moyen du territoire desservi par le SEDIF, par appareil ménager et par dureté finale .....	49
Figure 17. Impacts générés par l'arrêt de la consommation d'eau en bouteille pour un foyer, par type de foyer, pour une dureté finale de 10°f.....	51
Figure 18. Impacts générés par l'arrêt de l'adoucissement individuel pour un foyer, par type de foyer, pour une dureté finale de 10°f..	53
Figure 19. Matrice des 5 types de foyer - version 2 .....	55
Figure 20. Comparaison de la réduction des dépenses par type de foyer.....	58
Figure 21. Comparaison de la réduction des émissions de GES par type de foyer.....	60
Figure 22. Exemple de conversion des données danoises en données françaises par In Extenso, consommation de produits d'entretien (page 69) .....	72
Figure 23. Les raisons de boire et de ne pas boire l'eau du robinet d'après l'Enquête nationale du CIEAU 2022 .....	77
Figure 24. Relation entre la dureté de l'eau et la consommation énergétique du lave-linge .....	95
Figure 25. Relation entre la dureté de l'eau et la consommation de produits détergents en kg/foyer/an .....	96
Figure 26. Relation entre la dureté de l'eau et la consommation de produits détergents en L/foyer/an .....	96

Figure 27. Relation entre la dureté de l'eau et la durée de vie des équipements, hors chauffe-eau.....	97
Figure 28. Relation entre la dureté de l'eau et la consommation énergétique des équipements, hors chauffe-eau .....	97
Figure 29. Relation entre la dureté de l'eau et la consommation énergétique du chauffe-eau .....	98
Figure 30. Relation entre la dureté de l'eau et la durée de vie du chauffe-eau.....	98
Figure 31. La consommation de produit vaisselle en fonction de la dureté : une fonction affine par morceaux .....	100
Figure 32. Décomposition de la réduction des dépenses des 3 catégories d'usagers par vecteur d'impact .....	120
Figure 33. Décomposition de la réduction des émissions de GES des 3 catégories d'usagers par vecteur d'impact.....	120
Figure 34. Décomposition par vecteur d'impact de la réduction des dépenses du poste "Alimentation" .....	121
Figure 35. Décomposition par vecteur d'impact de la réduction des dépenses du poste "Hygiène personnelle" .....	122
Figure 36. Décomposition par vecteur d'impact de la réduction des dépenses du poste "Sanitaire" .....	123
Figure 37. Décomposition par vecteur d'impact de la réduction des dépenses du poste "Linge" et du poste "Vaisselle" .....	123
Figure 38. Décomposition par vecteur d'impact de la réduction des émissions de GES pour le poste "Alimentation" .....	124
Figure 39. Décomposition par vecteur d'impact de la réduction des émissions de GES pour le poste "Hygiène personnelle".....	125
Figure 40. Décomposition par vecteur d'impact de la réduction des émissions de GES pour le poste "Sanitaire" .....	126
Figure 41. Décomposition par vecteur d'impact de la réduction des émissions de GES du poste "Linge" et du poste "Vaisselle" .....	126



# INDEX DES ÉQUATIONS

Équation 5. Conversion de l'augmentation de la consommation énergétique de l'étude WQRF en consommation énergétique annuelle par foyer .....	17
Équation 2. Équations de régression et facteurs de corrélation ....	18
Équation 3. Formules de la réduction de la consommation de produits détergents, de la consommation énergétique ; et de l'augmentation de la durée de vie .....	19
Équation 8. Formule de calcul de l'impact financier de la réduction de la dureté de l'eau, associée à la consommation de produits détergents .....	23
Équation 9. Impact de l'arrêt de la consommation d'eau en bouteille pour un foyer qui arrête effectivement complètement .....	25
Équation 10. Impact de l'arrêt de la consommation d'eau en bouteille pour un foyer moyen du territoire, après répartition équitable des bénéfices globaux.....	25
Équation 11. Formules des dépenses et émissions de GES associées à un an d'utilisation d'un adoucisseur en fonction de son type .....	26
Équation 12. Impact de l'arrêt de l'adoucissement individuel pour un foyer qui arrête effectivement complètement .....	27
Équation 13. Impact de l'arrêt de l'adoucissement pour un foyer moyen du territoire, après équi-répartition des bénéfices globaux	27

Équation 14. Calcul de l'impact total pour tout le territoire desservi par le SEDIF.....	30
Équation 15. Calcul de l'impact moyen pour un foyer moyen desservi par le SEDIF.....	30
Équation 1. Produit en croix : des données danoises aux données françaises .....	73
Équation 2. Calcul de la quantité de plastique générée par l'achat de bouteilles d'eau, In Extenso (page 26) .....	75
Équation 3. Raisonnement d'In Extenso pour le calcul de la part des Français susceptibles d'arrêter la consommation d'eau en bouteille après décarbonatation (page 25) .....	76
Équation 4. Calcul des économies liées à l'arrêt de l'adoucissement individuel, In Extenso (page 40) .....	78
Équation 16. Répartition du poste de consommation jardin/véhicule sur les autres postes de consommation .....	86
Équation 17. Conversion des données danoises aux données françaises .....	93

# BIBLIOGRAPHIE

ADEME, Mars 2021. *Panels Usages Électrodomestiques*, s.l.: s.n.

CIEAU, 2017. *Les Français et l'Eau, Enquête Nationale, 21ème édition*, Paris: s.n.

CIEAU, 2022. *Les Français et l'eau, Enquête Nationale 2022, 26ème édition*, Paris: s.n.

GIEC, 2019. *Synthèse à l'intention des décideurs*, Paris: s.n.

GIFAM, 2021. *Chauffage électrique et eau chaude sanitaire en France, Les chiffres clés*, s.l.: s.n.

GIFAM, Février 2019. *Focus sur le lave-vaisselle, Newsletter #8*, s.l.: s.n.

Godskesen, et al., 2012. Life cycle assessment of central softening of very hard drinking water. *Journal of Environmental Management*, pp. 83-89.

Gombert-Courvoisier, S., Rulleau, B. & Eisenbeis, P., 2024. Caractérisation de la consommation domestique d'eau potable dans le temps et dans l'espace. *Vertigo*.

INSEE, 2019. *Tableau de l'Économie française*, s.l.: s.n.

INSEE, 2020. *Tableau de l'Économie française*, s.l.: s.n.

IPBES, 2019. : *Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Service*, Bonn: s.n.

IPCC, 2023. *Summary for Policymakers. In: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Geneva: s.n.

PNNL & US Dpt of Energy, November 2013. *Impacts of Water Quality on Residential Water Heating Equipment*, s.l.: Pacific Northwest National Laboratory for US Department of Energy.

SBTN, May 2023. *Science Based Targets for Nature: Glossary of Terms*, s.l.: s.n.

WQRF, 2011. *Softened Water Benefits Study - 2 pages Summary, Executive Summar, Study Findings*, s.l.: s.n.