

THESE
POUR LE DIPLOME D'ETAT
DE DOCTEUR EN PHARMACIE

Soutenue publiquement le 23 septembre 2025

Par M. HAY Valentin

**Stratégie d'amélioration durable d'une unité de
stérilisation**

Membres du jury :

Président de jury :

Monsieur le Professeur Bertrand DECAUDIN, Professeur des Universités à la faculté de pharmacie de Lille, Pharmacien Praticien Hospitalier au Centre Hospitalier Universitaire de Lille

Directeur de thèse :

Monsieur le Docteur Yves INGHELS, Pharmacien Praticien Hospitalier au Centre Hospitalier de Valenciennes

Asseseurs :

Madame le Docteur Morgane MASSE, Maître de Conférence des Universités à la faculté de pharmacie de Lille, Pharmacien Praticien Hospitalier au Centre Hospitalier Universitaire de Lille

Madame le Docteur Fanny RADOUBE, Pharmacien Praticien Hospitalier au Centre Hospitalier de Valenciennes

Université de Lille

Président
Premier Vice-président
Vice-présidente Formation
Vice-président Recherche
Vice-président Ressources Humaine
Directrice Générale des Services

Régis BORDET
Bertrand DÉCAUDIN
Corinne ROBACZEWSKI
Olivier COLOT
Jean-Philippe TRICOIT
Anne-Valérie CHIRIS-FABRE

UFR3S

Doyen
Premier Vice-Doyen, Vice-Doyen RH, SI et Qualité
Vice-Doyenne Recherche
Vice-Doyen Finances et Patrimoine
Vice-Doyen International
Vice-Doyen Coordination pluriprofessionnelle et Formations sanitaires
Vice-Doyenne Formation tout au long de la vie
Vice-Doyen Territoire-Partenariats
Vice-Doyen Santé numérique et Communication
Vice-Doyenne Vie de Campus
Vice-Doyen étudiant

Dominique LACROIX
Hervé HUBERT
Karine FAURE
Emmanuelle LIPKA
Vincent DERAMECOURT
Sébastien D'HARANCY
Caroline LANIER
Thomas MORGENROTH
Vincent SOBANSKI
Anne-Laure BARBOTIN
Victor HELENA

Faculté de Pharmacie

Vice - Doyen
Premier Assesseur et
Assesseur à la Santé et à l'Accompagnement
Assesseur à la Vie de la Faculté et
Assesseur aux Ressources et Personnels
Responsable de l'Administration et du Pilotage
Représentant étudiant
Chargé de mission 1er cycle
Chargée de mission 2eme cycle
Chargé de mission Accompagnement et Formation à la Recherche
Chargé de mission Relations Internationales
Chargée de Mission Qualité
Chargé de mission dossier HCERES

Pascal ODOU

Anne GARAT

Emmanuelle LIPKA
Cyrille PORTA
Honoré GUISE
Philippe GERVOIS
Héloïse HENRY
Nicolas WILLAND
Christophe FURMAN
Marie-Françoise ODOU
Réjane LESTRELIN

Professeurs des Universités - Praticiens Hospitaliers (PU-PH)

Civ.	Nom	Prénom	Service d'enseignement	Section CNU
Mme	ALLORGE	Delphine	Toxicologie et Santé publique	81
M.	BROUSSEAU	Thierry	Biochimie	82
M.	DÉCAUDIN	Bertrand	Biopharmacie, Pharmacie galénique et hospitalière	81
M.	DINE	Thierry	Pharmacologie, Pharmacocinétique et Pharmacie clinique	81
Mme	DUPONT-PRADO	Annabelle	Hématologie	82
Mme	GOFFARD	Anne	Bactériologie - Virologie	82
M.	GRESSIER	Bernard	Pharmacologie, Pharmacocinétique et Pharmacie clinique	81
M.	ODOU	Pascal	Biopharmacie, Pharmacie galénique et hospitalière	80
Mme	POULAIN	Stéphanie	Hématologie	82
M.	SIMON	Nicolas	Pharmacologie, Pharmacocinétique et Pharmacie clinique	81
M.	STAELS	Bart	Biologie cellulaire	82

Professeurs des Universités (PU)

Civ.	Nom	Prénom	Service d'enseignement	Section CNU
M.	ALIOUAT	El Moukhtar	Parasitologie - Biologie animale	87
Mme	ALIOUAT	Cécile-Marie	Parasitologie - Biologie animale	87
Mme	AZAROUAL	Nathalie	Biophysique - RMN	85
M.	BERLARBI	Karim	Physiologie	86
M.	BERTIN	Benjamin	Immunologie	87
M.	BLANCHEMAIN	Nicolas	Pharmacotechnie industrielle	85

M.	CARNOY	Christophe	Immunologie	87
M.	CAZIN	Jean-Louis	Pharmacologie, Pharmacocinétique et Pharmacie clinique	86
M.	CUNY	Damien	Sciences végétales et fongiques	87
Mme	DELBAERE	Stéphanie	Biophysique - RMN	85
Mme	DEPREZ	Rebecca	Chimie thérapeutique	86
M.	DEPREZ	Benoît	Chimie bio inorganique	85
Mme	DUMONT	Julie	Biologie cellulaire	87
M.	ELATI	Mohamed	Biomathématiques	27
M.	FOLIGNÉ	Benoît	Bactériologie - Virologie	87
Mme	FOULON	Catherine	Chimie analytique	85
M.	GARÇON	Guillaume	Toxicologie et Santé publique	86
M.	GOOSSENS	Jean-François	Chimie analytique	85
M.	HENNEBELLE	Thierry	Pharmacognosie	86
M.	LEBEGUE	Nicolas	Chimie thérapeutique	86
M.	LEMDANI	Mohamed	Biomathématiques	26
Mme	LESTAVEL	Sophie	Biologie cellulaire	87
Mme	LESTRELIN	Réjane	Biologie cellulaire	87
Mme	LIPKA	Emmanuelle	Chimie analytique	85
Mme	MELNYK	Patricia	Chimie physique	85
M.	MILLET	Régis	Institut de Chimie Pharmaceutique Albert Lespagnol	86
M.	MOREAU	Pierre-Arthur	Sciences végétales et fongiques	87
Mme	MUHR-TAILLEUX	Anne	Biochimie	87
Mme	PERROY	Anne-Catherine	Droit et Economie pharmaceutique	86

Mme	RIVIÈRE	Céline	Pharmacognosie	86
Mme	ROMOND	Marie-Bénédicte	Bactériologie - Virologie	87
Mme	SAHPAZ	Sevser	Pharmacognosie	86
M.	SERGHÉRAERT	Éric	Droit et Economie pharmaceutique	86
M.	SIEPMANN	Juergen	Pharmacotechnie industrielle	85
Mme	SIEPMANN	Florence	Pharmacotechnie industrielle	85
M.	WILLAND	Nicolas	Chimie organique	86

Maîtres de Conférences - Praticiens Hospitaliers (MCU-PH)

Civ.	Nom	Prénom	Service d'enseignement	Section CNU
Mme	CUVELIER	Élodie	Pharmacologie, Pharmacocinétique et Pharmacie clinique	81
Mme	DANEL	Cécile	Chimie analytique	85
Mme	DEMARET	Julie	Immunologie	82
Mme	GARAT	Anne	Toxicologie et Santé publique	81
Mme	GENAY	Stéphanie	Biopharmacie, Pharmacie galénique et hospitalière	81
Mme	GILLIOT	Sixtine	Biopharmacie, Pharmacie galénique et hospitalière	80
M.	GRZYCH	Guillaume	Biochimie	82
Mme	HENRY	Héloïse	Biopharmacie, Pharmacie galénique et hospitalière	80
M.	LANNOY	Damien	Biopharmacie, Pharmacie galénique et hospitalière	80
Mme	MASSE	Morgane	Biopharmacie, Pharmacie galénique et hospitalière	81
Mme	ODOU	Marie-Françoise	Bactériologie - Virologie	82

Maîtres de Conférences des Universités (MCU)

Civ.	Nom	Prénom	Service d'enseignement	Section CNU
M.	ANTHÉRIEU	Sébastien	Toxicologie et Santé publique	86
M.	BANTUBUNGI-BLUM	Kadiombo	Biologie cellulaire	87
M.	BERTHET	Jérôme	Biophysique - RMN	85
M.	BEDART	Corentin	ICPAL	86
M.	BOCHU	Christophe	Biophysique - RMN	85
M.	BORDAGE	Simon	Pharmacognosie	86
M.	BOSC	Damien	Chimie thérapeutique	86
Mme	BOU KARROUM	Nour	Chimie bioinorganique	
M.	BRIAND	Olivier	Biochimie	87
Mme	CARON-HOUDE	Sandrine	Biologie cellulaire	87
Mme	CARRIÉ	Hélène	Pharmacologie, Pharmacocinétique et Pharmacie clinique	86
Mme	CHABÉ	Magali	Parasitologie - Biologie animale	87
Mme	CHARTON	Julie	Chimie organique	86
M.	CHEVALIER	Dany	Toxicologie et Santé publique	86
Mme	DEMANCHE	Christine	Parasitologie - Biologie animale	87
Mme	DEMARQUILLY	Catherine	Biomathématiques	85
M.	DHIFLI	Wajdi	Biomathématiques	27
M.	EL BAKALI	Jamal	Chimie thérapeutique	86
M.	FARCE	Amaury	Institut de Chimie Pharmaceutique Albert Lespagnol	86
M.	FLIPO	Marion	Chimie organique	86
M.	FRULEUX	Alexandre	Sciences végétales et fongiques	
M.	FURMAN	Christophe	Institut de Chimie Pharmaceutique Albert Lespagnol	86
M.	GERVOIS	Philippe	Biochimie	87

Mme	GOOSSENS	Laurence	Institut de Chimie Pharmaceutique Albert Lespagnol	86
Mme	GRAVE	Béatrice	Toxicologie et Santé publique	86
M.	HAMONIER	Julien	Biomathématiques	26
Mme	HAMOUDI-BEN YELLES	Chérifa-Mounira	Pharmacotechnie industrielle	85
Mme	HANNOTHIAUX	Marie-Hélène	Toxicologie et Santé publique	86
Mme	HELLEBOID	Audrey	Physiologie	86
M.	HERMANN	Emmanuel	Immunologie	87
M.	KAMBIA KPAKPAGA	Nicolas	Pharmacologie, Pharmacocinétique et Pharmacie clinique	86
M.	KARROUT	Younes	Pharmacotechnie industrielle	85
Mme	LALLOYER	Fanny	Biochimie	87
Mme	LECOEUR	Marie	Chimie analytique	85
Mme	LEHMANN	Hélène	Droit et Economie pharmaceutique	86
Mme	LELEU	Natascha	Institut de Chimie Pharmaceutique Albert Lespagnol	86
M.	LIBERELLE	Maxime	Biophysique - RMN	
Mme	LOINGEVILLE	Florence	Biomathématiques	26
Mme	MARTIN	Françoise	Physiologie	86
M.	MARTIN MENA	Anthony	Biopharmacie, Pharmacie galénique et hospitalière	
M.	MENETREY	Quentin	Bactériologie - Virologie	87
M.	MORGENROTH	Thomas	Droit et Economie pharmaceutique	86
Mme	MUSCHERT	Susanne	Pharmacotechnie industrielle	85
Mme	NIKASINOVIC	Lydia	Toxicologie et Santé publique	86
Mme	PINÇON	Claire	Biomathématiques	85
M.	PIVA	Frank	Biochimie	85
Mme	PLATEL	Anne	Toxicologie et Santé publique	86
M.	POURCET	Benoît	Biochimie	87

M.	RAVAUX	Pierre	Biomathématiques / Innovations pédagogiques	85
Mme	RAVEZ	Séverine	Chimie thérapeutique	86
Mme	ROGEL	Anne	Immunologie	
M.	ROSA	Mickaël	Hématologie	87
M.	ROUMY	Vincent	Pharmacognosie	86
Mme	SEBTI	Yasmine	Biochimie	87
Mme	SINGER	Elisabeth	Bactériologie - Virologie	87
Mme	STANDAERT	Annie	Parasitologie - Biologie animale	87
M.	TAGZIRT	Madjid	Hématologie	87
M.	VILLEMAGNE	Baptiste	Chimie organique	86
M.	WELTI	Stéphane	Sciences végétales et fongiques	87
M.	YOUS	Saïd	Chimie thérapeutique	86
M.	ZITOUNI	Djamel	Biomathématiques	85

Professeurs certifiés

Civ.	Nom	Prénom	Service d'enseignement
Mme	FAUQUANT	Soline	Anglais
M.	HUGES	Dominique	Anglais
Mme	KUBIK	Laurence	Anglais
M.	OSTYN	Gaël	Anglais

Professeurs Associés

Civ.	Nom	Prénom	Service d'enseignement	Section CNU
M.	BAILLY	Christian	ICPAL	86
M.	DAO PHAN	Haï Pascal	Chimie thérapeutique	86
M.	DHANANI	Alban	Droit et Economie pharmaceutique	86

Maîtres de Conférences Associés

Civ.	Nom	Prénom	Service d'enseignement	Section CNU
M	AYED	Elya	Pharmacie officinale	
M.	COUSEIN	Etienne	Biopharmacie, Pharmacie galénique et hospitalière	
Mme	CUCCHI	Malgorzata	Biomathématiques	85
Mme	DANICOURT	Frédérique	Pharmacie officinale	
Mme	DUPIRE	Fanny	Pharmacie officinale	
M.	DUFOSSEZ	François	Biomathématiques	85
M.	FRIMAT	Bruno	Pharmacologie, Pharmacocinétique et Pharmacie clinique	85
Mme	GEILER	Isabelle	Pharmacie officinale	
M.	GILLOT	François	Droit et Economie pharmaceutique	86
M.	MITOUMBA	Fabrice	Biopharmacie, Pharmacie galénique et hospitalière	86
M.	PELLETIER	Franck	Droit et Economie pharmaceutique	86
M	POTHIER	Jean-Claude	Pharmacie officinale	
Mme	ROGNON	Carole	Pharmacie officinale	

Assistants Hospitalo-Universitaire (AHU)

Civ.	Nom	Prénom	Service d'enseignement	Section CNU
M.	BOUDRY	Augustin	Biomathématiques	
Mme	DERAMOUDT	Laure	Pharmacologie, Pharmacocinétique et Pharmacie clinique	
M.	GISH	Alexandr	Toxicologie et Santé publique	
Mme	NEGRIER	Laura	Chimie analytique	

Hospitalo-Universitaire (PHU)

	Nom	Prénom	Service d'enseignement	Section CNU
M.	DESVAGES	Maximilien	Hématologie	
Mme	LENSKI	Marie	Toxicologie et Santé publique	

Attachés Temporaires d'Enseignement et de Recherche (ATER)

Civ.	Nom	Prénom	Service d'enseignement	Section CNU
Mme	BERNARD	Lucie	Physiologie	
Mme	BARBIER	Emeline	Toxicologie	
Mme	COMPAGNE	Nina	Chimie Organique	
Mme	COULON	Audrey	Pharmacologie, Pharmacocinétique et Pharmacie clinique	
M.	DUFOSSEZ	Robin	Chimie physique	
Mme	FERRY	Lise	Biochimie	
M	HASYEOUI	Mohamed	Chimie Organique	
Mme	HENRY	Doriane	Biochimie	
Mme	KOUAGOU	Yolène	Sciences végétales et fongiques	

M	LAURENT	Arthur	Chimie-Physique	
M.	MACKIN MOHAMOUR	Synthia	Biopharmacie, Pharmacie galénique et hospitalière	
Mme	RAAB	Sadia	Physiologie	

Enseignant contractuel

Civ.	Nom	Prénom	Service d'enseignement
Mme	DELOBEAU	Iris	Pharmacie officinale
M	RIVART	Simon	Pharmacie officinale
Mme	SERGEANT	Sophie	Pharmacie officinale
M.	ZANETTI	Sébastien	Biomathématiques

LRU / MAST

Civ.	Nom	Prénom	Service d'enseignement
Mme	FRAPPE	Jade	Pharmacie officinale
M	LATRON-FREMEAU	Pierre-Manuel	Pharmacie officinale
M.	MASCAUT	Daniel	Pharmacologie, Pharmacocinétique et Pharmacie clinique

UFR3S-Pharmacie

L'Université n'entend donner aucune approbation aux opinions émises dans les thèses ; celles-ci sont propres à leurs auteurs.

REMERCIEMENTS

Au jury de thèse,

À Monsieur le Professeur Bertrand Décaudin,

Je tiens à exprimer ma sincère reconnaissance pour l'honneur que vous me faites en acceptant de présider ce jury. Veuillez trouver ici l'expression de mon profond respect et de ma haute considération.

À Monsieur le Docteur Yves Inghels,

Je vous remercie grandement d'avoir accepté de m'encadrer pour la rédaction de cette thèse sur un sujet qui me tient particulièrement à cœur. Merci pour vos conseils, votre disponibilité ainsi que pour ces échanges très enrichissants qui ont grandement contribué à la qualité de cette thèse.

À Madame le Docteur Morgane Masse,

Je tiens à te remercier pour l'honneur que tu me fais en acceptant de juger ce travail, ainsi que pour le temps accordé. Je tiens à t'exprimer toute ma reconnaissance.

À Madame le Docteur Radoubé Fanny,

Fanny, je tiens à te remercier de m'avoir encadré dans ce travail et je suis reconnaissant pour le temps que tu as consacré aux nombreuses relectures. Je te souhaite le meilleur dans ta nouvelle vie de famille qui s'agrandit.

Aux pharmaciens, co-internes et préparateurs en pharmacie de Douai, de Denain, du SDIS 59 et du CHU de Lille. Merci pour votre soutien, votre collaboration et pour m'avoir transmis tant sur le plan professionnel qu'humain. J'adresse une gratitude particulière aux équipes du CH de Valenciennes dont l'aide précieuse a grandement contribué à la réalisation de ce travail.

À mes enseignants, pour leur engagement et pour m'avoir formé durant mon chemin académique.

À ma famille, à mes grands-parents, oncles, tantes et cousins, pour leur soutien et leur bienveillance.

À mes parents, Nathalie et Laurent, qui m'ont appris à croire en moi et à persévérer, même quand le chemin semblait long. Merci pour les sacrifices que vous avez faits et pour toutes ces heures passés à m'accompagner dans mes études. Ce travail est l'aboutissement de l'éducation et de la confiance que vous m'avez transmise. Je vous dédis cette Thèse, avec l'espérance qu'elle vous comble de fierté.

À ma sœur, Léa. J'apprenais à courir quand tu commençais à marcher. Et depuis, nos pas, parfois décalés, forment un chemin commun tissé de souvenirs et de rires. Merci pour ton soutien et ta générosité. Je suis fier de la personne que tu deviens et heureux de cheminer à tes côtés.

À mes amis,

À Robin, pour ton soutien sans faille. Merci pour ton amitié précieuse.

À mes camarades de faculté, compagnons de route durant ces années d'études avec qui j'ai partagé des moments inoubliables, de souvenirs, des rires, des verres et des vacances. Même si la distance nous sépare désormais, le prochain chemin semble nous rassembler autour de passions communes. J'espère que nous continuerons à nous retrouver et à créer encore de nombreux moments ensemble.

À mes co-internes, qui ont rendu cet internat fabuleux. Notamment Benjamin, Antoine, Camille, Lucie, Aymeric, les camarades du poker, du ski, du Mariokart et des soirées du vendredi soir. Tout aurait été différent sans vous. Merci pour ces moments partagés faits d'apéros, de complicité, de rires. Je suis convaincu que nos chemins continueront de se croiser.

À Florine, dont la présence illumine ma vie. Je dédie cette dernière ligne avec mon amour et l'espérance de mille horizons à venir.

LISTE DES ABREVIATIONS

ACV : Analyse du cycle de vie

ADEME : Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie

ADP : Abiotic Depletion Potential (Potentiel d'épuisement des ressources abiotiques)

AFNOR : Association française de normalisation

ANI : Accord national interprofessionnel

ANACT : Agence nationale pour l'amélioration des conditions de travail

ANAP : Agence nationale d'appui à la performance des établissements de santé et médico-sociaux

ATNC : Agents transmissibles non conventionnels

AWARE : Available WAtER REmaining (méthode d'évaluation d'impact lié à l'eau)

BEGES : Bilan des émissions de gaz à effet de serre

BPPH : Bonnes pratiques de pharmacie hospitalière

CDC : Centers for Disease Control (États-Unis)

CH : Centre hospitalier

CHU : Centre hospitalier universitaire

CIRAIG : Centre international de référence sur le cycle de vie des produits, procédés et services

CLP : Classification, Labelling and Packaging (règlement européen)

CTA : Centrale de traitement d'air

CTU : Unité Toxique Comparative

DAOM : Déchets assimilés aux ordures ménagères

DASRI : Déchets d'activités de soins à risques infectieux

DHOS : Direction de l'hospitalisation et de l'organisation des soins

DMR : Dispositif médical réutilisable

DMUU : Dispositif médical à usage unique

EN : Norme européenne (European Norm)

EPI : Équipements de protection individuelle

FDS : Fiche de données de sécurité

GHG : Greenhouse Gaz

HAS : Haute Autorité de santé

INRS : Institut national de recherche et de sécurité

INSEE : Institut national de la statistique et des études économiques

ISO : International Organization for Standardization

LD : Laveur-désinfecteur

MCO : Médecine, Chirurgie, Obstétrique

NF : Norme française

OMS : Organisation mondiale de la santé

PCD : Process Challenge Device

PDM : Pré désinfection mécanisé

PIB : Produit intérieur brut

PLFSS : Projet de loi de financement de la sécurité sociale

PRG : Pouvoir de réchauffement global

QVCT : Qualité de vie et des conditions de travail

RDM : Règlement des dispositifs médicaux (MDR 2017/745)

REACH : Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals

RPS : Risques psychosociaux

RSE : Responsabilité sociétale des entreprises

SEIRICH : Système d'évaluation et d'information sur les risques chimiques en entreprise

SF2H : Société française d'hygiène hospitalière

SF2S : Société française de stérilisation

SMMS : Spunbond/Meltblown/Meltblown/Spunbond

TMS : Troubles musculosquelettiques

UO : Unité d'œuvre

WDP : Water Depletion Potential (Potentiel d'épuisement des ressources en eau)

ZAC : Zone à atmosphère contrôlée

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS	15
LISTE DES ABREVIATIONS	17
TABLE DES MATIERES.....	19
TABLE DES FIGURES	23
LISTE DES TABLEAUX.....	27
LISTE DES ANNEXES.....	28
CONTEXTE	29
I. Qualité des soins et évolution des systèmes de santé	29
II. Impacts écologiques des systèmes de santé	30
III. Stérilisation hospitalière.....	32
1. Définition	32
2. Micro-organismes et niveaux de criticité	32
3. Stratégies de stérilisation	34
4. Textes réglementaires et normatifs.....	37
5. Processus de stérilisation	38
IV. Enjeu durable : Responsabilité sociale d'une entreprise	42
V. Impact durable des unités de stérilisation	44
1. Impact écologique.....	44
2. Impact sociétal	46
3. Impact économique.....	46
STRATEGIE D'AMELIORATION DURABLE D'UNE UNITE DE STERILISATION	49
Introduction	49
Objectifs.....	50
Stratégie générale de l'étude	51
Matériels et méthodes	53
I. Evaluation des impacts écologiques, sociétaux et économiques d'une unité de stérilisation	53

1. Impacts écologiques d'une unité de stérilisation	53
1.1. Avant-propos	53
1.2. Emissions de gaz à effet de serre.....	55
1.3. Emissions chimiques	62
1.4. Utilisation de l'eau.....	63
1.5. Utilisation des ressources fossiles	64
2. Impacts sociétaux d'une unité de stérilisation	64
3. Impacts économiques d'une unité de stérilisation.....	66
II. Revue des systèmes et technologies émergents	67
III. Mise en place d'actions durables	68
Résultats.....	69
I. Impacts écologiques, sociétaux et économiques d'une unité de stérilisation..	69
1. Emissions des gaz à effets de serre :	69
1.1. Scope 1 : Emissions directes de gaz à effet de serre	69
1.2. Scope 2 : Emissions indirectes de gaz à effet de serre associées à l'énergie	71
1.3. Scope 3 : Autres émissions de gaz à effet de serre non liées à l'énergie	74
2. Utilisation de l'eau.....	82
3. Utilisation des ressources fossiles	83
4. Emissions chimiques	84
4.1. Risques pour la santé humaine	85
4.2. Risque pour l'environnement	86
5. Impacts sociétaux	90
5.1. Egalité au travail	90
5.2. Santé au travail et prévention	91
5.3. Organisation, contenu et réalisation du travail.....	92
5.4. Compétence et parcours professionnel	93
5.5. Dialogue social et professionnel	94

5.6. <i>Projet d'entreprise et management</i>	95
6. Impacts économiques d'une unité de stérilisation.....	96
II. Revue des systèmes émergents	98
1. Laveurs désinfecteurs.....	98
2. Stérilisateur à la vapeur d'eau saturée.....	99
3. Stérilisateurs au peroxyde d'hydrogène.....	101
4. Centrale de traitement de l'air	102
5. Détergent – Désinfectant	104
III. Mise en place d'améliorations durables.....	106
1. Actions à fort impact environnemental	106
1.1. <i>Action n°1 : diminution de l'empreinte fossile</i>	106
1.2. <i>Action n°2 : diminution de l'empreinte en eau</i>	108
1.3. <i>Action n°3 : limiter les produits chimiques toxiques</i>	109
2. Actions à plus faible impact environnemental	110
Discussion	113
I. Analyse critique des résultats.....	113
1. Dépenses énergétiques	113
2. Dépenses en eau.....	116
3. Diminution des émissions toxiques	116
4. Aspects sociétaux.....	117
5. Aspects économiques.....	118
II. Forces et limites de l'étude	118
III. Perspectives futures	119
Conclusion	121
BIBLIOGRAPHIE	122
ANNEXES	130

TABLE DES FIGURES

Figure 1 : Répartition des émissions de gaz à effet de serre du secteur de la santé par acteur en France en 2023 selon les calculs du Shift Project ⁽⁸⁾	31
Figure 2 : Echelle de résistance décroissante des micro-organismes à la stérilisation et à la désinfection selon les « Guideline for Disinfection and Sterilization in Healthcare Facilities » (2008) ⁽¹³⁾	33
Figure 3 : Stérilisateurs à la vapeur d'eau saturée de la société Schlumberger.....	35
Figure 4 : Stérilisateur par diffusion de peroxyde d'hydrogène V-PRO® de la société Steris	35
Figure 5 : Cycle de stérilisation à la vapeur d'eau saturée comprenant 3 phases : la phase de pré-traitement, du plateau de stérilisation et de post-traitement	36
Figure 6 : Cycle de stérilisation par diffusion de peroxyde d'hydrogène (H ₂ O ₂)	36
Figure 7 : Procédure permettant de prévenir et de limiter le risque de transmission des ATNC selon l'instruction n°RI3/2011/449 ⁽²¹⁾ pour les dispositifs médicaux thermorésistants	38
Figure 8 : Processus de pré traitement et de stérilisation en unité hospitalière en 8 phases	39
Figure 9 : Laveur désinfecteur PG8528® de la société Miele.....	39
Figure 10 : Cabine de lavage de la société MMM Group.....	40
Figure 11 : Sept étapes du nettoyage des dispositifs médicaux avec un laveur désinfecteur	40
Figure 12 : Conteneur réutilisable en aluminium anodisé fabriqué par la société Aesculap.....	41
Figure 13 : Feuille non-tissé Steriweb® de la société SPS Médical	41
Figure 14 : Les trois piliers du développement durable et leurs interactions	43
Figure 15 : Catégories de compositions et coefficients associés pour la stérilisation à la vapeur d'eau de dispositifs médicaux selon la SF2S et l'ANAP ⁽³⁸⁾	47
Figure 16 : Coût moyen de la stérilisation en UO Sté en 2015 sur 54 centres analysés ⁽³⁹⁾	48

Figure 17 : Stratégie générale de mise en place d'actions durables d'une unité de stérilisation.....	51
Figure 18 : Périmètre organisationnel de l'unité de stérilisation.....	58
Figure 19 : Périmètre opérationnel du BEGES (Bilan des Emissions de Gaz à Effet de Serre) représentant les 3 scopes de la méthode	59
Figure 20 : Emission de gaz à effet de serre d'une unité de stérilisation	69
Figure 21 : Emission de gaz à effet de serre du scope 1 : émissions directes	70
Figure 22 : Emissions globales de gaz à effet de serre liées à la consommation électrique pour chaque catégorie d'équipements	73
Figure 23 : Emissions individuelles de gaz à effet de serre liées à la consommation électrique de chaque équipement.....	74
Figure 24 : Emissions de gaz à effet de serre liées aux déplacements domicile-travail des agents	75
Figure 25 : Emissions de gaz à effet de serre liée aux articles de conditionnement.	76
Figure 26 : Emissions de gaz à effet de serre liées à la maintenance des équipements.....	77
Figure 27 : Emissions de gaz à effet de serre liées à l'immobilisation des biens.....	79
Figure 28 : Emissions globales de gaz à effet de serre liées aux déchets	80
Figure 29 : Emissions détaillées de gaz à effet de serre liées aux eaux usées	81
Figure 30 : Représentation des émissions totales par type d'équipement.....	81
Figure 31 : Potentiel de privation en eau théorique minimal des équipements.....	82
Figure 32 : Utilisation des énergies fossiles de l'unité de stérilisation	83
Figure 33 : Répartition de l'effectif par tranche d'âge	90
Figure 34 : Résultats du questionnaire de satisfaction en matière de santé au travail	91
Figure 35 : Résultats du questionnaire de satisfaction en matière de réalisation du travail.....	93
Figure 36 : Résultat du questionnaire de satisfaction en matière de parcours professionnel	94

Figure 37 : Résultats du questionnaire de satisfaction en matière de dialogue social et professionnel	95
Figure 38 : Résultats du questionnaire de satisfaction en matière de projets.....	96
Figure 39 : Comparaison des coûts par composition selon le modèle « S » (à l'instrument) et le modèle « UO Sté » (ANAP/SF2S) ⁽⁵³⁾	97
Figure 40 : Bandeau microfibre en polypropylène et polyester de la société FILMOP®.....	104
Figure 41 : Convoyeurs automatiques de la société Belimed	107
Figure 42 : Impact RSE du remplacement du parc des laveurs désinfecteurs	107
Figure 43 : Pompe à vide sèche de la société Busch	108
Figure 44 : Impact RSE du remplacement des pompes à vide.....	109
Figure 45 : Impact RSE du passage aux bandelettes microfibres	110
Figure 46 : Equipement de retraitement de polypropylène recyclable, SPS Médical (Stérilmelt®)	111
Figure 47: Mix électrique en 2016 pour 6 pays Européen selon Total Energie Fondation ⁽⁶⁰⁾	114

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Empreinte carbone liée à la santé des 10 pays présentant les plus hauts pourcentages de l'empreinte nationale selon Peter-Paul Pichler et al. ⁽⁷⁾	30
Tableau 2 : Traitement des dispositifs médicaux selon le niveau de risque (dérivé de Spaulding et al. ⁽¹⁴⁾)	34
Tableau 3 : Tableau d'équivalences CO2 issu de la base de l'ADEME ⁽²⁷⁾	44
Tableau 4 : Catégories d'impact sur l'environnement, issue des recommandations de la commission européenne pour les ACV ⁽⁴⁰⁾	54
Tableau 5 : Catégories d'impact environnementales étudiées	55
Tableau 6 : Budget des équipements de contrôle financier supérieur à 10 000 euros de l'unité de stérilisation et nécessitant une source d'énergie	56
Tableau 7 : Postes d'émissions pour lesquels l'activité a été mesurée directement.	60
Tableau 8 : Postes d'émissions pour lesquels l'activité a été mesurée indirectement	61
Tableau 9 : Matrice des indicateurs sociétaux évalués et critères d'évaluation	65
Tableau 10 : Présentation des équipements et produits retenus pour étude de systèmes et technologies émergents	67
Tableau 11 : Inventaire et niveaux de risques des produits chimiques de l'unité de stérilisation selon l'outil SEIRICH® ⁽⁴⁷⁾ en 2024.....	84
Tableau 12 : Produits chimiques à risque pour la santé humaine	86
Tableau 13 : Eco-toxicologie aquatique des produits chimiques à risque pour l'environnement	89
Tableau 14 : Inventaire des équipements améliorant la santé au travail	92
Tableau 15 : Comparaison des coûts par composition selon le modèle « S » du CH de Valenciennes à l'instrument et le modèle « UO Sté » de l'ANAP/SF2S ⁽³⁸⁾	97
Tableau 16 : Liste des technologies et systèmes écologiques émergents de laveurs désinfecteurs	98
Tableau 17 : Liste des technologies et systèmes écologiques émergents de stérilisateurs à vapeur d'eau saturé	100

Tableau 18 : Liste des technologies et systèmes écologiques émergents de stérilisateurs au peroxyde d'hydrogène	101
Tableau 19 : Liste des technologies et systèmes écologiques émergents de centrale de traitement de l'air	103
Tableau 20 : Liste des familles de produits chimiques détergent – désinfectant	104

LISTE DES ANNEXES

Annexe A : Emissions de Gaz à effet de serre liées à chaque équipement.	130
Annexe B : Tableau comparatif entre les catégories et postes fixés entre le référentiel national, le bilan carbone® et le GHG Protocol issu du BEGES de juillet 2022 ⁽⁴³⁾	132
Annexe C : Liste des facteurs d'émission utilisés dans notre étude.	133
Annexe D : Grille de satisfaction permettant l'évaluation de la qualité de vie et des conditions de travail à destination du personnel de l'unité de stérilisation.	134

CONTEXTE

I. Qualité des soins et évolution des systèmes de santé

Depuis quelques années, le secteur hospitalier français est confronté à des exigences en pleines évolutions afin de garantir la qualité des soins. Les missions qui en découlent ne sont plus simplement d'améliorer les paramètres de qualité fournis par les producteurs de soins mais intègrent la notion de performance afin de maîtriser les coûts hospitaliers ⁽¹⁾. Cette notion s'inscrit plus récemment dans un contexte de transformation globale des politiques de santé. La performance hospitalière ne peut plus être appréciée uniquement sous l'angle médical ou économique mais doit intégrer de nouvelles dimensions. Comme l'indique la stratégie nationale de santé du Haut Conseil de la santé publique 2023-2033 ⁽²⁾, la performance hospitalière doit intégrer des dimensions écologiques d'anticipation du changement climatique et sociales de remise en cause des conditions de travail. En effet, le changement climatique compromet directement la qualité des soins que les systèmes de santé peuvent offrir. Selon un article de 2019 publié dans *The Lancet Countdown* ⁽³⁾, un enfant né aujourd'hui vivra dans un monde plus chaud de plus de 4 °C si les trajectoires actuelles d'émissions se maintiennent ce qui compromettra sa santé dès l'enfance à travers une exposition à la malnutrition, aux maladies infectieuses ainsi qu'à la pollution de l'air. Une stabilisation du climat aura de nombreux bénéfices sur la santé humaine.

En réponse à ces enjeux, les autorités sanitaires françaises ont renforcé les exigences de qualité en matière de responsabilité environnementale. Comme l'indique le critère 2.4-04 de la certification de la HAS (Haute Autorité de Santé) en 2025 ⁽⁴⁾, l'ensemble des équipes doivent repenser leurs pratiques de soins afin d'intégrer des solutions durables ne se limitant pas simplement à la gestion des déchets. Cette certification met également en avant l'importance de la qualité de vie au travail (critère 3.2-08) comme moteur et garant de la qualité des soins en abordant notamment les RPS (Risques PsychoSociaux) et TMS (Troubles MusculoSquelettiques) dans l'activité des professionnels. Elle ajoute également au regard de sa version 2024, la notion d'engagement des équipes de soins dans une réflexion écoresponsable.

Le ministère de la santé et de la prévention quant à lui, a élaboré en 2023 une feuille de route pour intégrer le développement durable dans le système de santé et vise à transformer en profondeur les pratiques du secteur ⁽⁵⁾. Cette feuille de route a notamment pour objectif d'atteindre une neutralité carbone en travaillant sur des restructurations concernant les achats durables, les industries et les transports.

II. Impacts écologiques des systèmes de santé

Jusqu'à présent, le secteur de la santé n'avait pas été considéré comme pertinent dans la mesure de l'empreinte climatique mondiale. Cependant, il représente en 2023 11,5% du PIB (Produit Intérieur Brut) français selon l'INSEE (Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques) ⁽⁶⁾ et est lui-même responsable d'une part significative de la pollution environnementale. En 2019, une étude publiée dans *Environmental Research Letters* ⁽⁷⁾ a révélé que les secteurs de la santé de 36 pays examinés sont responsables d'une émission carbonée de 1,6 Gt de CO₂ équivalent, soit 4,4% des émissions totales de chaque pays en 2014. Dans cette même étude, la France figure en 5ème position avec une émission carbonée du secteur de la santé de 6,9% des émissions totales du pays. Le Tableau 1 issu de l'article représente les 10 pays présentant les pourcentages de l'empreinte carbone en santé les plus importants.

Tableau 1 : Empreinte carbone liée à la santé des 10 pays présentant les plus hauts pourcentages de l'empreinte nationale selon *Peter-Paul Pichler et al.* ⁽⁷⁾

	Empreinte carbone en santé (MtCO₂eq)	Pourcentage de l'empreinte carbone nationale (%)
Pays-Bas	15,8	8,1
Etats-Unis	479,7	7,9
Belgique	7,5	7,7
Japon	114,9	7,6
France	34,4	6,9
Autriche	6,8	6,8
Slovaquie	4,1	6,7
Allemagne	55,1	6,7
Irlande	3,1	6,7
Chine	600,6	6,6

En avril 2023, l'équipe du *Shift Project* publie un rapport réalisé principalement à partir de données physiques annonçant que le secteur de la santé représente entre 6,6 et 10% de l'impact carbone de la France ⁽⁸⁾. Ce même secteur étant pourvoyeur de 1 980 000 emplois en France la même année ⁽⁹⁾. Toujours selon l'étude du *Shift Project*, 38% des émissions sont liées aux établissements hospitaliers (Cf Figure 1). Les sources d'impact sont multiples : consommation énergétique des bâtiments hospitaliers, production de déchets médicaux, transport des patients et des professionnels mais aussi des chaînes logistiques.



Figure 1 : Répartition des émissions de gaz à effet de serre du secteur de la santé par acteur en France en 2023 selon les calculs du Shift Project ⁽⁸⁾

La répartition des émissions indique que l'achat des dispositifs médicaux représente 21% des émissions liées à la santé, c'est pourquoi ce rapport préconise de soutenir le développement des circuits de réutilisation des dispositifs médicaux.

Suite à une étude observationnelle de 2018 réalisée dans trois blocs opératoires au CHU (Centre Hospitalier Universitaire) de Nîmes ⁽¹⁰⁾, des pharmaciens hospitaliers ont démontré que les fournitures gaspillées lors d'interventions chirurgicales représentent 20,1% du coût total alloué à celles-ci mettant en évidence une marge significative d'amélioration de gestion des ressources.

Face à ces constats, la notion d'hôpital durable émerge incitant à repenser les pratiques pour réduire leur empreinte écologique tout en maintenant un prix abordable et une qualité de soins optimale. Les services hospitaliers comme les unités de stérilisation sont des leviers d'action de cette transition.

III. Stérilisation hospitalière

1. Définition

La stérilisation hospitalière constitue une étape essentielle pour garantir la qualité des soins en assurant l'élimination des micro-organismes. La stérilisation est définie depuis 2018 par la norme ISO 11139 : 2018⁽¹¹⁾ comme la mise en œuvre d'un ensemble de procédés validés utilisés pour obtenir un produit exempt de microorganismes viables. Dans le contexte hospitalier, la stérilisation vise les dispositifs médicaux** réutilisables. Elle a pour mission d'en garantir l'état stérile, défini comme la probabilité théorique qu'un micro-organisme viable soit présent en deçà d'une probabilité de 1 pour 10⁶ dispositifs stérilisés. Cet objectif traduit un niveau d'exigence très élevé dans lequel la survie d'un micro-organisme est considérée comme hautement improbable.

2. Micro-organismes et niveaux de criticité

Les micro-organismes sont définis par la norme ISO 11139 : 2018⁽¹¹⁾ comme des entités de taille microscopique incluant les bactéries, les champignons, les protozoaires et les virus. Cette définition ne tient cependant pas compte de l'activité des ATNC*** (Agents Transmissibles Non Conventionnels) ou prion. En 1998, *Stanley B Prusiner*⁽¹²⁾ propose une définition de ces agents pathogènes potentiellement infectieux responsables d'un groupe de maladies neurodégénératives.

Ces micro-organismes ont été classés par ordre de résistance à la stérilisation et désinfection par le CDC (Center for Diseases Control) dans ses *Guideline for Disinfection and Sterilization in Healthcare Facilities*⁽¹³⁾ publiés en 2008 et mis à jour en 2024 selon le diagramme ci-après (Cf Figure 2).

** produits de santé utilisés chez l'homme pour une finalité diagnostique ou thérapeutique, pour compenser un handicap ou comme moyen de maîtrise de la conception.

*** Il s'agit d'une forme pathogène de protéines naturellement présentes, dépourvues de matériel génétique et capables d'induire la conversion de protéines normales en protéines de conformation tridimensionnelle anormale ce qui entraîne une agrégation et une neurodégénérescence de certaines cellules cérébrales.

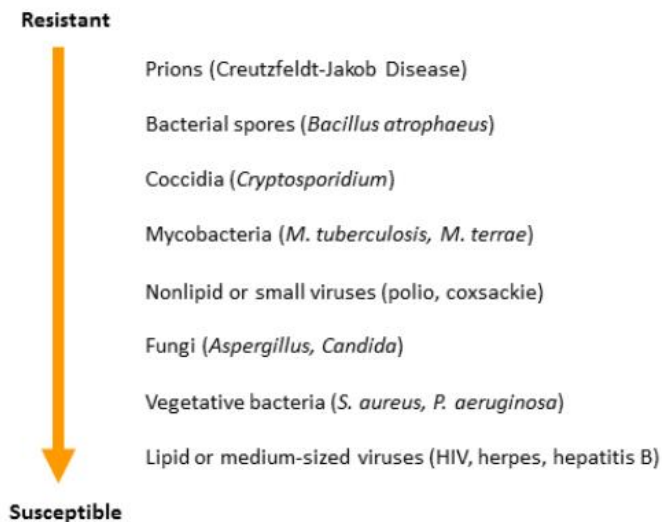


Figure 2 : Echelle de résistance décroissante des micro-organismes à la stérilisation et à la désinfection selon les « Guideline for Disinfection and Sterilization in Healthcare Facilities » (2008) ⁽¹³⁾

Cette hiérarchie, largement reconnue dans la littérature scientifique et adoptée par d'autres instances comme l'OMS permet d'adapter les stratégies de stérilisation selon la nature des agents infectieux visés et le niveau de criticité des dispositifs médicaux concernés. Elle justifie notamment le recours à des procédés de stérilisation, tels que l'autoclavage ou la vapeur de peroxyde d'hydrogène pour éliminer les formes les plus résistantes en particulier dans les environnements critiques (blocs opératoires, plateaux techniques et services de soins).

En France, le traitement des dispositifs médicaux réutilisables repose sur l'évaluation du niveau de criticité du dispositif médical. Cette classification est issue des travaux de *Earle H. Spaulding et al.* ⁽¹⁴⁾ il y a une cinquantaine d'années qui catégorise les dispositifs médicaux en trois niveaux de criticité : critiques, semi-critiques et non-critiques. E-H Spaulding a défini les principes de désinfection et de stérilisation en classant les instruments et les articles destinés aux soins des patients en fonction du degré de risque d'infection lié à leur utilisation. Le Tableau 2 issu des recommandations du guide de bonnes pratiques de traitement des dispositifs médicaux réutilisables de la SF2H (Société Française d'Hygiène Hospitalière) ⁽¹⁵⁾ résume la classification proposée.

Tableau 2 : Traitement des dispositifs médicaux selon le niveau de risque (dérivé de *Spaulding et al.* ⁽¹⁴⁾)

Destination du matériel	Classement du matériel	Niveau de risque infectieux	Niveau de traitement requis
Introduction dans le système vasculaire ou dans une cavité ou tissu stérile quelle que soit la voie d'abord	Critique	Haut risque	Stérilisation, usage unique, ou à défaut désinfection de haut niveau
En contact avec muqueuse ou peau lésée superficiellement	Semi-critique	Risque intermédiaire	Désinfection de niveau intermédiaire
En contact avec la peau intacte du patient ou sans contact avec le patient	Non critique	Bas risque	Désinfection de bas niveau

Les dispositifs critiques réutilisables qui entrent en contact avec des tissus stériles ou le système vasculaire présentent un risque élevé de contamination et donc d'infection pour le patient. Ils nécessitent donc systématiquement une stérilisation ou à défaut une désinfection de haut niveau si la stérilisation est impossible.

3. Stratégies de stérilisation

Parmi les différents procédés de stérilisation existants, le choix de la méthode dépend de la nature du dispositif médical mais surtout de sa compatibilité aux conditions physiques (durée, température et pression) ou chimiques (agent stérilisant, détergent ou désinfectant).

La pharmacopée Européenne ⁽¹⁶⁾ définit les méthodes de préparation de produits stériles. Elle recommande la stérilisation à la vapeur d'eau saturée lorsque cette méthode est disponible. Dans le milieu hospitalier, il s'agit de la méthode recommandée pour l'ensemble du matériel thermorésistant. Elle s'effectue dans des autoclaves : enceinte utilisant de la vapeur d'eau saturée sous pression (Cf Figure 3). La stérilisation est obtenue par transfert de chaleur lors de la condensation de l'eau pure contenue sur la surface des dispositifs médicaux à stériliser.



Figure 3 : Stérilisateurs à la vapeur d'eau saturée de la société Schlumberger

La seconde méthode utilisée en milieu hospitalier est la stérilisation par les vapeurs de peroxyde d'hydrogène (Cf Figure 4). Ce procédé est dit stérilisation basse température puisqu'il est utilisée à une température de l'ordre de 50°C. Cette approche utilise la capacité oxydante toxique hautement réactive du peroxyde d'hydrogène pour inactiver les micro-organismes.



Figure 4 : Stérilisateur par diffusion de peroxyde d'hydrogène V-PRO® de la société Steris

Les cycles de stérilisation à la vapeur d'eau comportent 3 phases décrites dans la Figure 5 ci-après.

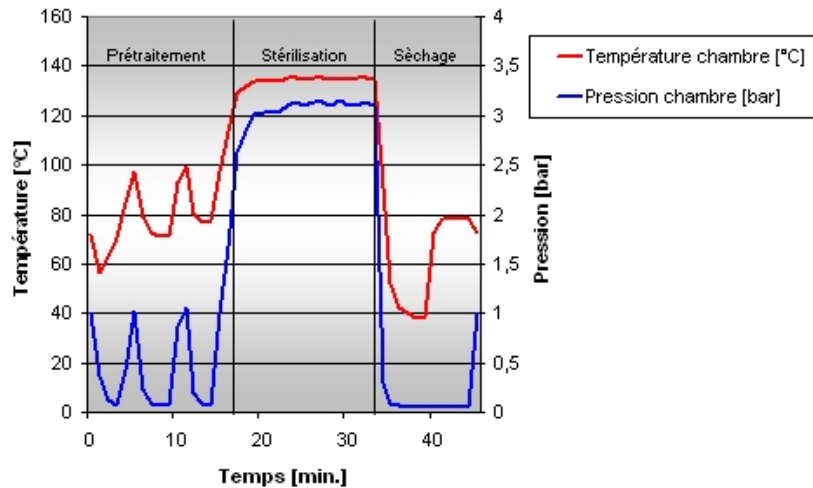


Figure 5 : Cycle de stérilisation à la vapeur d'eau saturée comprenant 3 phases : la phase de pré-traitement, du plateau de stérilisation et de post-traitement

La phase de pré-traitement représente l'évacuation de l'air de la chambre par des vides successifs suivis d'injection de vapeur d'eau saturée. Lors de la phase de stérilisation, l'autoclave applique un couple température/durée/pression maintenu tout au long du plateau de stérilisation. Enfin, la phase de post-traitement permet l'élimination des condensats et de la vapeur sous l'effet du vide.

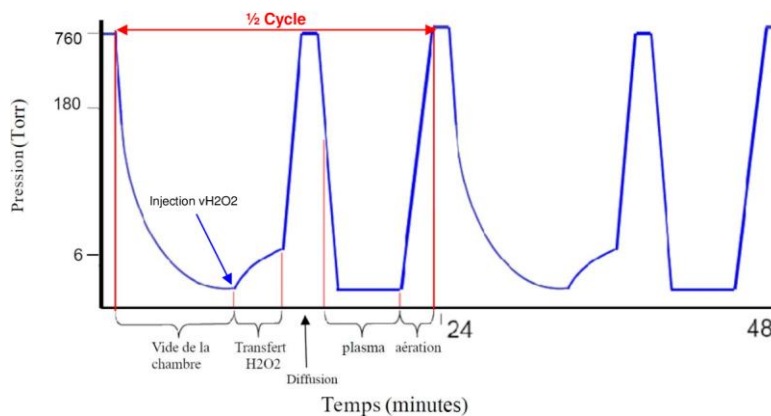


Figure 6 : Cycle de stérilisation par diffusion de peroxyde d'hydrogène (H₂O₂)

En ce qui concerne la stérilisation à basse température par H₂O₂, elle s'effectue également en trois phases (Cf Figure 6). La première consiste en une mise sous vide ; vient ensuite l'injection et la diffusion du H₂O₂ sous forme de vapeur de peroxyde d'hydrogène qui assure l'inactivation des micro-organismes par oxydation. Enfin, une phase plasma ou un catalyseur selon les procédés suivi d'une phase d'aération permettant d'éliminer les résidus de H₂O₂.

D'autres procédés sont utilisés pour la stérilisation des dispositifs médicaux à usage unique dans l'industrie. On peut citer notamment la stérilisation par oxyde d'éthylène ou par rayonnements ionisants.

4. Textes réglementaires et normatifs

En France, l'activité est réglementée par les BPPH ⁽¹⁷⁾ (Bonnes Pratiques de Pharmacie Hospitalières) édictées par la DHOS (Direction de l'Hospitalisation et de l'Organisation des Soins) et publiées dans l'arrêté du 22 juin 2001 qui précisent les exigences relatives à la préparation des dispositifs médicaux stériles en matière d'organisation, de traçabilité, de validation des procédés et de formation du personnel.

Concernant la stérilisation par vapeur d'eau saturée, la norme d'application obligatoire NF EN 554 ⁽¹⁸⁾ constitue une référence centrale en matière de méthodologie et d'exigences pour la validation des cycles. Elle a été remplacée en 2006 par la norme NF EN ISO 17665 : 2006 ⁽¹⁹⁾ qui constitue le cadre normatif international. La stérilisation basse température quant à elle est encadrée par la norme internationale ISO 22441 : 2022 ⁽²⁰⁾ qui précise les exigences pour le développement, la validation et le contrôle en routine par peroxyde d'hydrogène vaporisé.

L'instruction 449 de la Direction Générale de la Santé n°RI3/2011/449 de 2011 ⁽²¹⁾ relative à l'actualisation des recommandations visant à réduire les risques de transmission d'ATNC (prions) lors des actes invasifs impose des mesures renforcées pour la prise en charge de l'instrumentation réutilisable et la prévention des encéphalopathies subaiguës spongieuses rares mais transmissibles par voie iatrogène. La Figure 7 ci-après définit les modalités de prise en charge du retraitement en fonction des risques. Pour les actes à risque chez les patients ni suspects ni atteints, l'utilisation d'un laveur-désinfecteur utilisant un détergent prionicide est possible.

Niveau de risque de l'acte Niveau de risque du patient	Acte invasif à risque vis-à-vis des ATNC	Autre acte invasif
Patient ni suspect ni atteint d'EST	Nettoyage + Inactivation totale ^a + Stérilisation 134°C 18 min	Nettoyage + Stérilisation 134°C 18 min ^c
Patient suspect ou atteint d'EST	Double nettoyage manuel + Inactivation totale ^a + Séquestration ^b	Nettoyage manuel + Inactivation totale ^a + Stérilisation 134°C 18 min

Figure 7 : Procédure permettant de prévenir et de limiter le risque de transmission des ATNC selon l'instruction n°RI3/2011/449 ⁽²¹⁾ pour les dispositifs médicaux thermorésistants

Le cadre réglementaire s'inscrit également dans une démarche d'assurance qualité. Comme l'indique l'article R6111-21-1 du code de la santé publique, la mise en place d'un système qualité ainsi que la nomination d'un responsable en charge de ce système est obligatoire. En parallèle, plusieurs référentiels normatifs encadrent la qualité en stérilisation :

- La norme réglementaire NF EN ISO 14937 ⁽²²⁾ encadre la validation des procédés de stérilisation en l'absence de norme spécifique de l'agent stérilisant.
- La norme NF EN ISO 9001 ⁽²³⁾ définit les exigences générales d'un système de management de la qualité tandis que la NF EN ISO 13485 ⁽²⁴⁾ est spécifique aux dispositifs médicaux.
- La première ligne directrice des BPPH ⁽¹⁷⁾ encadre également la qualité en stérilisation

5. Processus de stérilisation

Le guide de Bonnes Pratiques de Stérilisation des Dispositifs Médicaux Réutilisables ⁽²⁵⁾ rédigé par la SF2S (Société Française des Sciences de la Stérilisation) a édité de nombreuses recommandations pour la pratique hospitalière. Il définit le principe de « marche en avant » à adopter pour cette activité.

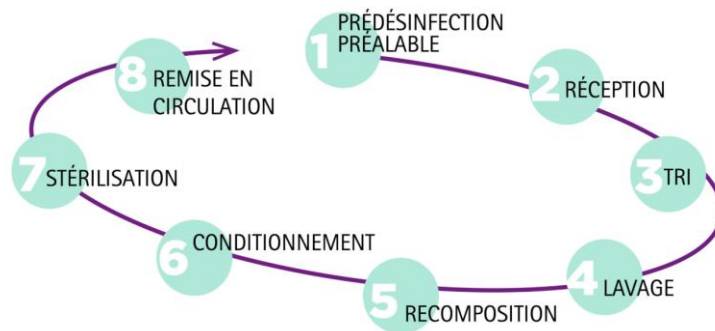


Figure 8 : Processus de pré traitement et de stérilisation en unité hospitalière en 8 phases

Après un prétraitement immédiat en service utilisateur (bloc opératoire, service de soin, ...) par immersion dans une solution de détergent-désinfectant ou par pré-désinfection mécanisée, les dispositifs médicaux réutilisables sont transportés et réceptionnés dans l'unité de stérilisation. Ils y sont triés puis soumis à un nettoyage la plupart du temps mécanique à l'aide de laveurs désinfecteurs (Cf Figure 9) pour l'instrumentation.



Figure 9 : Laveur désinfecteur PG8528® de la société Miele

Les conteneurs réutilisables quant à eux peuvent être nettoyés par une cabine de lavage (Cf Figure 10). Il en est de même pour les chariots de transport, les chariots de bloc opératoire et les bacs de pré-désinfection.



Figure 10 : Cabine de lavage de la société MMM Group

Les laveurs désinfecteurs permettent de nettoyer les dispositifs médicaux par irrigation et aspersion en différentes phases de traitement : rinçage préliminaire à l'eau, nettoyage par une solution détergente chauffée entre 45 et 70°C suivi ou non d'une phase de neutralisation, rinçage intermédiaire à l'eau, désinfection thermique à une température supérieure à 90°C puis rinçage et séchage final (Cf Figure 11).

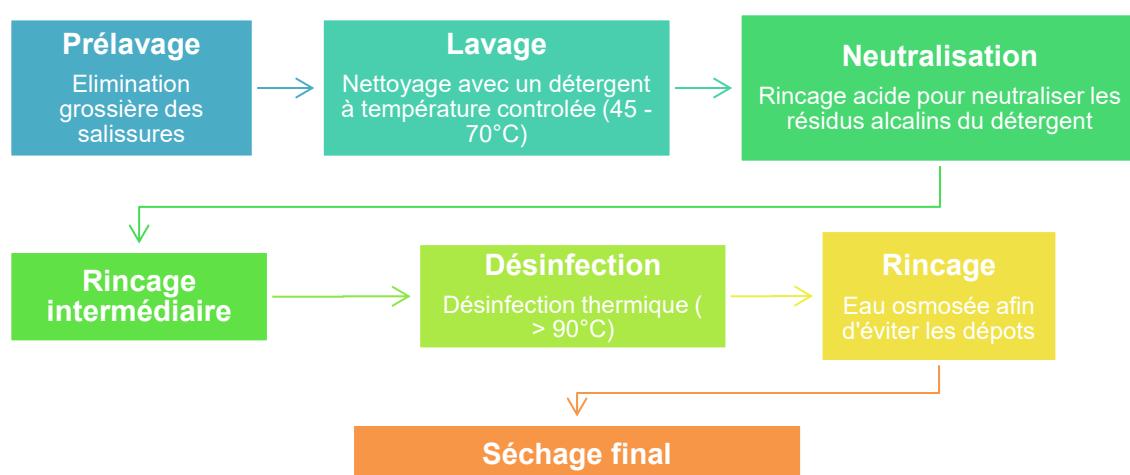


Figure 11 : Sept étapes du nettoyage des dispositifs médicaux avec un laveur désinfecteur

Si le nettoyage mécanique n'est pas possible, un nettoyage manuel par brossage ou écouvillonnage est réalisé avant que les dispositifs ne soient séchés par air comprimé. En complément, certains dispositifs médicaux présentant une configuration complexe peuvent être soumis aux bacs à ultrasons. Après avoir été nettoyés et désinfectés, les dispositifs médicaux sont triés et regroupés en compositions chirurgicales en ZAC

(Zone à Atmosphère Contrôlée). Cette zone est une structure protégée permettant de maintenir un environnement contrôlé en particule, contamination microbologique, température et humidité grâce à une centrale de traitement d'air et à des règles d'accès et d'habillage restrictives.

Après vérification et recomposition, les dispositifs médicaux y sont conditionnés dans des emballages adaptés, conçus pour être compatible avec le procédé de stérilisation leur permettant de préserver leur stérilité (système de barrière stérile) et de les protéger lors du transport et du stockage (emballage de protection). Il peut s'agir de feuille en matériaux non-tissés (Cf Figure 13), de conteneurs réutilisables en acier inoxydable/aluminium (Cf Figure 12) ou de sachet/gaine en papier plastique. Ces derniers doivent être scellés à l'aide d'une thermo soudeuse.



Figure 12 : Conteneur réutilisable en aluminium anodisé fabriqué par la société Aesculap



Figure 13 : Feuille non-tissé Steriweb® de la société SPS Médical

Ensuite les dispositifs médicaux sont stérilisés, chaque cycle de stérilisation étant contrôlé et validé avant libération. Enfin, les dispositifs stériles sont transportés, stockés dans des conditions contrôlées.

La traçabilité** est assurée à chaque étape pour garantir sécurité et qualité. Cette traçabilité peut être manuelle ou informatisée à l'aide d'un logiciel.

*** désigne l'ensemble des moyens et procédures permettant de suivre, à chaque étape du circuit dispositif médical, l'historique, l'utilisation et la localisation d'un dispositif médical.*

En support, de nombreux équipements sont considérés essentiels au bon déroulé de ce processus. On peut notamment citer le logiciel de supervision qui permet de surveiller et d'enregistrer les données enregistrées pendant les cycles de lavages ou de stérilisation (température, pression...), les osmoseurs qui permettent de produire de l'eau pure et la CTA (Centrale de Traitement de l'Air). Les consommables utilisés sont nombreux : EPI (Equipements de Protection Individuel) nécessaires à la protection des agents de production ou de l'environnement (charlottes, gants, masques et tenues propres), produits détergents permettant le bionettoyage de l'unité de stérilisation, PCD (Process Challenge Device) permettant de vérifier la pénétration de la vapeur et tests de salissures permettant de vérifier l'absence de dérivés dans le processus de nettoyage par les laveurs désinfecteurs.

IV. Enjeu durable : Responsabilité sociale d'une entreprise

Face aux enjeux croissants du développement durable, la RSE (Responsabilité Sociétale des Entreprises) s'impose aujourd'hui comme le levier permettant aux organisations d'intégrer concrètement des pratiques respectueuses de l'environnement, socialement équitables et économiquement viables.

La RSE désigne depuis 2011, selon la Commission Européenne ⁽²⁶⁾ l'intégration volontaire par les entreprises de préoccupations sociales, environnementales et économiques dans leurs activités et dans leurs interactions avec les parties prenantes. Selon la Commission Européenne, « la RSE est la responsabilité des entreprises vis-à-vis des effets qu'elles exercent sur la société ». Elle repose tout d'abord sur le pilier économique : il permet de garantir la pérennité de l'entreprise par des pratiques éthiques et responsables. Ensuite le pilier social qui permet de veiller au bien-être, à la santé physique et mentale ainsi qu'à la sécurité des salariés. Enfin le pilier environnemental, son objectif est de limiter l'impact écologique de l'entreprise notamment à travers la réduction des émissions polluantes et l'optimisation de l'utilisation des ressources.

Ces piliers réunis sont en interactions perpétuelles les uns avec les autres. Ils ne peuvent être envisagés isolément car chacune influence et conditionne les deux autres. Un développement économique qui néglige l'environnement entraîne une

surexploitation des ressources. De même, une politique sociale sans interaction économique est difficilement soutenable à long terme tout comme une protection de l'environnement qui ne prendrait pas en compte les réalités socio-économiques risquerait de générer des inégalités. Ainsi, la durabilité repose sur un équilibre entre ces trois sphères : un développement est véritablement durable s'il est à la fois viable écologiquement, viable pour les sociétés humaines et équitable dans la répartition des richesses. Cette approche systémique est essentielle pour construire un avenir durable.



Figure 14 : Les trois piliers du développement durable et leurs interactions

En France, l'ADEME (Agence de la transition écologique) ⁽²⁷⁾ joue un rôle central dans la structuration des démarches RSE. Elle propose des outils de mesure et d'accompagnement à destination des entreprises pour évaluer et réduire leur empreinte environnementale. L'outil de mesure le plus utilisé est le bilan de GES (Gaz à Effet de Serre). La mesure des émissions de GES est standardisée en kilogrammes de dioxyde de carbone équivalent (kgCO_2eq). Cette unité permet d'agréger différents gaz à effet de serre (CH_4 , N_2O , HFC) en les ramenant à leur PRG (Pouvoir de Réchauffement Global) sur une période de 100 ans.

Tableau 3 : Tableau d'équivalences CO2 issu de la base de l'ADEME ⁽²⁷⁾

Ordre de grandeur	Equivalent
1 kg de CO2 équivalent	5 km en voiture essence
	1 cycle de machine à laver à 60°C
1 tonne de CO2 équivalent	1 vol aller-retour Paris-New York
	1 an de chauffage pour un petit appartement
100 tonnes de CO2 équivalent	Empreinte annuelle de 10 français moyens
	20 hectares de culture sous serre chauffée pendant un mois

Outre les GES, les entreprises peuvent émettre des substances chimiques polluantes : composés organiques volatiles, oxydes d'azote, particules fines, métaux lourds... Ces émissions sont notamment encadrées par le règlement REACH ⁽²⁸⁾ (Registration, Evaluation, Authorisation and restriction of CHemicals) qui concerne les substances chimiques (production, import et usage). Ce règlement a pour objectif de protéger la santé humaine et l'environnement des risques des substances chimiques.

En ce qui concerne l'aspect social, la QVCT (Qualité de Vie et des Conditions de Travail) constitue l'un des volets essentiels de la RSE. Elle désigne l'ensemble des conditions dans lesquelles les salariés exercent leur activité et expriment leur ressenti sur le sens et l'utilité de leur travail. En 2013, l'Accord National Interprofessionnel ⁽²⁹⁾ a consacré la QVT (Qualité de Vie au Travail) comme un levier stratégique pour améliorer à la fois le bien-être des salariés et la performance des organisations.

V. Impact durable des unités de stérilisation

L'impact des unités de stérilisations sur le développement durable est peu décrit dans la littérature. Cependant, plusieurs sources d'impact peuvent être relevées.

1. Impact écologique

Les unités de stérilisation semblent constituer une source d'impact environnementale en raison de leur forte consommation en eau, en énergie et en produits lessiviels en particulier celle des autoclaves et des laveurs désinfecteurs. En 2011, l'unité de stérilisation du CH (centre hospitalier) de Chambéry ⁽³⁰⁾, présentant 660 lits de MCO (Médecine, Chirurgie, Obstétrique) fait état d'une consommation en eau de 8 000 litres d'eau utilisés par jour soit 2 920 000 litres sur une année et une consommation en électricité de 81 700 KWh uniquement pour les autoclaves dont une part significative est liée au mode veille (42%). De la même manière, une étude de 2024 réalisée au CH de Dax ⁽³¹⁾ visant à diminuer la consommation électrique d'un parc de 3 autoclaves montre qu'une optimisation des charges et du cycle de veille permet de diminuer l'impact électrique de 38% en moyenne. Par ailleurs, une étude anglaise de 2021 ayant réalisé une ACV (Analyse de Cycle de Vie) ⁽³²⁾ a montré que l'utilisation de conteneurs réutilisables permet une réduction de près de 85 % de l'empreinte carbone par rapport aux emballages à usage unique tissés en polypropylène avec un point d'équilibre écologique atteint après une centaine de cycles. Cette étude ne prenant cependant pas en compte la maintenance des conteneurs réutilisables ni la production des équipements permettant le lavage des conteneurs.

Concernant le bilan carbone, des études récentes (2021 à 2024) basées sur les méthodologies de l'ADEME ont permis d'estimer les émissions de GES générées par les unités de stérilisation. Ainsi, le CH de Montreuil ⁽³³⁾ enregistre une émission annuelle de 42,5 tCO₂e contre 115 tCO₂e pour le CH universitaire de Strasbourg ⁽³⁴⁾ et 142,7 tCO₂e pour le CH universitaire de Grenoble ⁽³⁵⁾. Ces résultats incluent à la fois une consommation énergétique et en eau mais aussi l'usage de consommables ainsi que la gestion des déchets associés (eaux usées et déchets produits). Ce différentiel s'explique notamment par la taille de l'établissement, le volume de dispositifs traités, le type d'énergie utilisée (électricité ou gaz) et les choix méthodologiques (choix du périmètre et des scopes étudiés) du calcul de l'impact carbone.

Ces résultats convergent vers l'identification de pistes prioritaires : utilisation et recyclage d'énergies bas carbone, chargement optimisé des autoclaves et laveurs désinfecteurs, réduction des emballages individuels et des déchets produits afin de minimiser l'empreinte écologique des unités de stérilisation hospitalière.

2. Impact sociétal

Sur le plan social, les conditions de travail dans les unités de stérilisation sont souvent marquées par une pénibilité importante. Les opérateurs y sont exposés à des postures statiques et/ou répétitives, à un bruit ambiant élevé lié notamment au fonctionnement des autoclaves, au fonctionnement de la CTA et de l'air comprimé ainsi qu'à des charges physiques et mentales conséquentes. Une étude brésilienne regroupant 35 participants a mis en évidence des douleurs fréquentes au niveau des épaules, du dos et du cou directement liées à la nature des tâches réalisées ⁽³⁶⁾.

En outre, la qualité de vie au travail et à domicile des agents de stérilisation est significativement altérée. Une enquête portugaise menée en 2020 ⁽³⁷⁾ dans un service de stérilisation fait état d'une altération de la qualité de vie à domicile des opérateurs : travail de nuit, douleur et épuisement physique ayant des impacts sociaux et familiaux. Cette enquête souligne également une fréquence d'arrêt maladie importante avec une altération de l'état général des individus.

3. Impact économique

D'un point de vue économique, le fonctionnement d'une unité de stérilisation représente un coût non négligeable pour les établissements de santé. Ces coûts comprennent la maintenance et l'amortissement de l'achat des équipements, la consommation de ressources (énergie, électricité et consommables), les salaires des agents ainsi que les frais liés à la logistique interne. Pour appréhender ces coûts de manière rigoureuse, l'analyse repose sur la notion d'UO Sté (unité d'œuvre de stérilisation). Définie par l'ANAP (Agence National d'Appui à la Performance des établissements) et la SF2S ⁽³⁸⁾, cet indicateur standardisé permet de quantifier l'activité d'un service de stérilisation hospitalier. Il intègre le nombre de compositions stérilisées et les répartit en différentes « catégories de composition » chacune étant pondérée par un coefficient reflétant la charge de travail et les ressources mobilisées pour son traitement. Cette approche remplace l'ancienne unité physiques (m³) jugée peu précises. L'UO Sté permet ainsi d'évaluer la performance et de calculer les coûts de production par unité. La Figure 15 ci-après présente la grille de calcul utilisée pour les compositions stérilisées à la vapeur d'eau de dispositifs médicaux.

Catégories de compositions	C = Coefficients de pondération	Catégories de destinataires	N = Nombre de compositions stérilisées	Nombre total d'UO Sté = C x N
DISPOSITIFS MÉDICAUX				
Nombre de DM stérilisés à l'unité	15	Blocs opératoires		
Nombre de compositions stérilisées comportant de 2 à 10 DM	30			
Nombre de compositions stérilisées comportant de 11 à 60 DM	110			
Nombre de compositions stérilisées comportant plus de 60 DM	160			
Nombre de compositions stérilisées comportant des DM en prêt	160			
Nombre de DM stérilisés à l'unité	15	Fauteuils dentaires, hors bloc*		
Nombre de compositions stérilisées comportant au moins 2 DM	20			
Nombre de DM stérilisés à l'unité	10	Services de soins		
Nombre de compositions stérilisées comportant au moins 2 DM	15			
SOUS-TOTAL UO Sté COMPOSITIONS DM				

Figure 15 : Catégories de compositions et coefficients associés pour la stérilisation à la vapeur d'eau de dispositifs médicaux selon la SF2S et l'ANAP ⁽³⁸⁾

Cette approche macro présente des limites car elle se fonde sur des fourchettes de dispositifs traités. Pour pallier ces limites, nous avons adopté un modèle économique alternatif, basé non plus sur des intervalles mais sur l'instrument. Notre unité de stérilisation applique une tarification à l'instrument stérilisé qui est définie à travers la notion de « S », une unité correspondant à un instrument stérilisé. Ce système se distingue par le fait que la facturation est réalisée auprès des services utilisateurs en fonction du nombre réel d'instruments traités. Elle constitue un levier en incitant les équipes des blocs opératoires à optimiser la composition des plateaux en réduisant les instruments inutilisés. Cela contribue à une meilleure maîtrise des coûts.

En outre, le modèle économique de notre CH est géré par pôle. Chaque pôle dispose d'une autonomie de gestion avec un budget propre tout en restant intégré à la stratégie globale de l'établissement. L'unité de stérilisation facture ses prestations aux services utilisateurs (blocs opératoires, plateaux techniques, services de soins). L'intégration de la notion de « S » permet donc d'avoir un axe de négociation et de suivi financier plus important.

En 2015, l'ANAP a réalisé une enquête auprès de 54 stérilisations afin de récolter les données d'activités et budgétaires. Il en ressort que sur le panel analysé, la moyenne d'une UO Sté est de 0,29 euros ⁽³⁹⁾. La Figure 16 ci-dessous présente les résultats de l'étude sur l'ensemble des centres analysés.

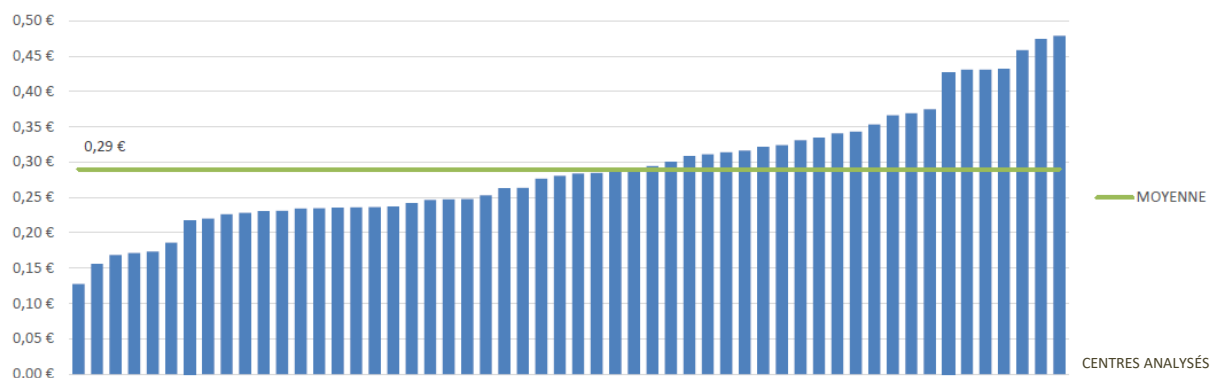


Figure 16 : Coût moyen de la stérilisation en UO Sté en 2015 sur 54 centres analysés ⁽³⁹⁾

STRATEGIE D'AMELIORATION DURABLE D'UNE

UNITE DE STERILISATION

Introduction

Les hôpitaux sont aujourd'hui confrontés à un défi d'ampleur : garantir des soins de qualité tout en gérant efficacement les ressources économiques, organisationnelles et en réduisant leur impact sur l'environnement. Cette évolution n'épargne aucun secteur dont les pharmacies à usage intérieur et notamment les unités de stérilisation qui assurent la stérilité des dispositifs médicaux utilisés dans les services de soins et les unités chirurgicales.

Si leur mission est cruciale, leur fonctionnement reste peu étudié dans une perspective de développement durable. Les pharmaciens hospitaliers sont au fait des contraintes de traçabilité, des normes à respecter, des exigences de qualité, en revanche il n'est que peu discuté de l'énergie consommée, des volumes d'eau utilisés, des conditions de travail ou encore des coûts que tout cela représente pour l'hôpital. Dans un moment où la question de l'empreinte écologique du secteur de la santé est en train d'émerger, les unités de stérilisation apparaissent comme des points sur lesquels il semble possible d'agir. D'autant que des solutions existent aux vues des progrès technologiques actuels : automatisation, numérisation, réorganisation des flux ... De plus en plus d'hôpitaux explorent ces pistes. Mais une question revient souvent : comment savoir si ces nouvelles approches sont réellement plus efficaces ? Et sur quels critères les évaluer ?

C'est précisément à cette question que cette thèse tente de répondre. Elle propose une méthode d'évaluation multicritère qui prend en compte, à parts égales, l'impact environnemental, la dimension sociale (conditions de travail, organisation) et l'aspect économique.

Ce travail répond à une attente de terrain. Les pharmaciens hospitaliers et équipes biomédicales manquent souvent d'outils fiables et adaptés pour appuyer leurs choix. L'exercice réalisé n'est pas seulement d'établir un diagnostic local mais de

construire une démarche qui pourra être répliquée dans d'autres établissements, quelque soient leur taille ou leur niveau de maturité technique.

En ce sens, cette thèse s'inscrit à la fois dans une logique opérationnelle afin de fournir des éléments tangibles pour la prise de décision et dans une démarche méthodologique, en proposant un cadre adaptable à d'autres unités de stérilisation hospitalière.

La suite de ce travail est structurée en trois parties :

- Une analyse descriptive d'une unité de stérilisation étudiée sur le plan écologique, économique et sociétal.
- Une revue de processus émergents sur le développement durable.
- Une série de propositions concrètes d'amélioration directement issues de cette analyse.

Objectifs

L'objectif principal de ce travail est de formuler des propositions concrètes et durables d'optimisation pour une unité de stérilisation.

Les objectifs secondaires sont d'évaluer l'impact réel d'une unité de stérilisation tant sur l'environnement que sur les conditions de travail du personnel. Cette évaluation adopte également une approche synthétique : il s'agit de recenser des procédés dits « émergents » pour une unité de stérilisation. Enfin, l'objectif est de développer les actions mises en place par l'unité de stérilisation du centre hospitalier de Valenciennes.

La méthode développée dans le cadre de cette étude se veut transférable : elle peut être appliquée à d'autres unités de stérilisation qu'elles soient situées dans des établissements hospitaliers publics ou privés.

Stratégie générale de l'étude

L'étude démarre d'une prise de conscience économique et écologique. Elle comprend une analyse descriptive des impacts (économiques, écologiques, sociétaux) complétée par une revue ciblée des technologies émergentes. Les actions identifiées comme les plus critiques ont ensuite été discutées puis des actions correctives ont été validées institutionnellement et mises en œuvre.

Le plan d'action de cette étude est décrit à partir de la Figure 17 ci-dessous.

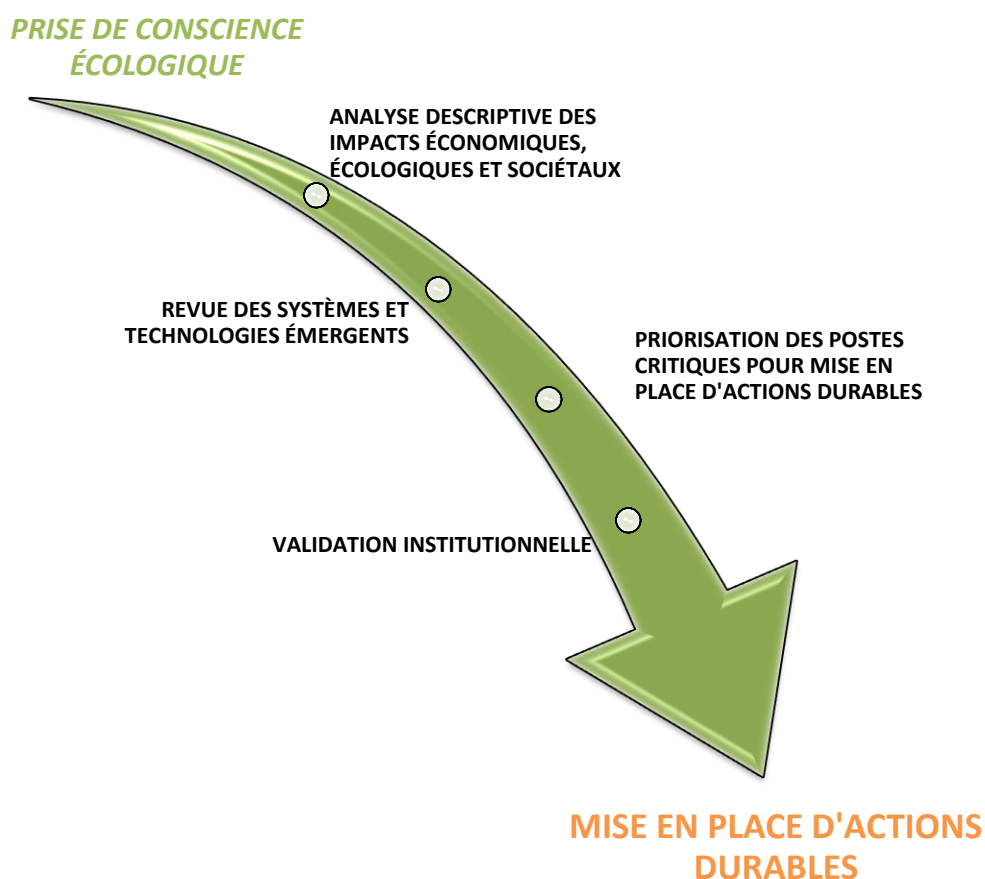


Figure 17 : Stratégie générale de mise en place d'actions durables d'une unité de stérilisation

Matériels et méthodes

Les données présentées proviennent de l'unité de stérilisation du CH de Valenciennes. Afin de pouvoir faire un comparatif avec d'autres unités de stérilisation de dimensionnement différent, le CH dispose en 2025 de 1912 lits dont 960 en MCO. L'établissement est équipé d'un plateau technique (radiologie interventionnelle, endoscopie) ainsi que d'un bloc opératoire de 21 salles. L'unité a stérilisé 1 743 408 instruments l'année 2022 ce qui représente 6 977 015 unités d'œuvre (UO Sté).

I. Evaluation des impacts écologiques, sociétaux et économiques d'une unité de stérilisation

1. Impacts écologiques d'une unité de stérilisation

1.1. Avant-propos

Le choix des critères écologiques à analyser est vaste. En effet, l'impact d'une unité de stérilisation peut être mesuré sur de nombreux paramètres environnementaux. En 2021, la commission européenne définit 16 catégories d'impact environnemental permettant de mesurer ou d'indiquer la performance environnementale ⁽⁴⁰⁾. Ces catégories ont été agrégées dans le Tableau 4.

Selon ces recommandations, les catégories d'impact les plus pertinentes ont été classées à partir de résultats pondérés et normalisés : changement climatique (21,5%), émissions de particules (14,9%), consommation d'eau (18,6%), utilisation des terres** (« *land use* ») (14,3%) et utilisation des ressources fossiles (15%) pour une contribution cumulée de 84,3 % de l'impact total.

*** L'utilisation des terres désigne la façon dont les sociétés humaines exploitent les espaces terrestres pour répondre à leur besoins (pratiques agricoles, forêts, zones urbaines ...)*

Tableau 4 : Catégories d'impact sur l'environnement, issue des recommandations de la commission européenne pour les ACV ⁽⁴⁰⁾

Catégorie d'impact	Indicateur de catégorie d'impact	Unité
Changement climatique total	Potentiel de réchauffement planétaire (PRP 100)	kg CO ₂ eq
Appauvrissement de la couche d'ozone	Potentiel d'appauvrissement de la couche d'ozone	kg CFC-11eq
Toxicité humaine, cancer	Unité toxique comparative pour les êtres humains	CTU
Toxicité humaine, autre que cancer	Unité toxique comparative pour les êtres humains	CTU
Matières particulaires	Impact sur la santé humaine	Incidence des maladies
Rayonnement ionisant	Efficacité de l'exposition humaine	kBq U
Formation photochimique d'ozone	Augmentation de la concentration d'ozone de la troposphère	kg COVNMeq
Acidification	Accumulation d'excédents	Mole H+eq
Eutrophisation marine	Fraction de nutriments atteignant le compartiment final marin (N)	kg Neq
Eutrophisation terrestre	Accumulation d'excédents	Mole Neq
Eutrophisation eau douce	Fraction de nutriments atteignant le compartiment final des eaux douces (P)	kg Peq
Écotoxicité, eaux douces	Unité toxique comparative pour les êtres humains (CTU e)	CTUe
Utilisation des sols	Indice de qualité du sol	Adimensionnelle (pt)
Utilisation de l'eau	Potentiel de privation d'eau de l'utilisateur	Équivalent en m3 d'eau manquant
Utilisation des ressources fossiles	Epuisement des ressources abiotiques	MJ
Utilisation des minéraux et métaux	Epuisement des ressources abiotiques	kg Sbeq

Par soucis de pertinence dans une unité hospitalière, nous avons choisi de développer les notions écologiques abordées dans le critère 3.4-03 de la certification de la HAS 2025 ⁽⁴⁾. Ils concernent les points suivants :

- Réduction des émissions de gaz à effet de serre
- Maitrise des risques environnementaux
- Réduction des déchets
- Maitrise de la consommation de ressources
- Soins écoresponsables

Une unité de stérilisation n'étant pas une zone de pollution particulière, nous choisissons de ne pas étudier l'impact environnemental de la matière particulaire.

A partir de ces informations, nous avons décidé d'étudier les catégories d'impact environnementales suivantes (Cf Tableau 5).

Tableau 5 : Catégories d'impact environnementales étudiées

Catégories environnementales choisies dans le cadre de l'étude	Catégories d'impact correspondantes des recommandations Européennes (Tableau 4)	Notions écologiques développées dans le critère 3.4-03 de la certification HAS 2025
Emissions de GES	Changement climatique total	1.Réduction des émissions de GES 2.Reduction des déchets
Etude des émissions chimiques	1.Toxicité humaine, Cancer 2.Toxicité humaine autre que le cancer 3.Ecotoxicité, eaux douces	Maitrise des risques environnementaux
Potentiel de privation de l'eau	Utilisation de l'eau	Maitrise des risques environnementaux
Utilisation des ressources fossiles	Utilisation des ressources fossiles	Maitrise de la consommation de ressources

1.2. Emissions de gaz à effet de serre

Afin d'évaluer l'impact du changement climatique de l'unité de stérilisation nous utiliserons la méthode du Bilan Carbone® ⁽⁴¹⁾. Cette méthode a été développée par l'ADEME (Agence de la transition écologique) en respectant la méthodologie du *GHG*® (*GreenHouse Gaz protocol*®) ⁽⁴²⁾ référence mondiale pour la comptabilisation des émissions de gaz à effet de serre. Cette méthode permet de rédiger le BEGES (Bilan des Emissions des Gaz à Effet de Serre) à partir de mesures directes et/ou d'estimation des émissions.

Nous nous sommes basés sur la version 5 du BEGES ⁽⁴³⁾ datant de juillet 2022 qui définit les étapes de réalisation du bilan ; tout d'abord un cadrage et l'identification des sources et des émissions de GES (Gaz à Effet de Serre), la collecte des données puis le calcul et l'analyse du bilan.

1.2.1 Périmètre organisationnel

Le périmètre organisationnel retenu repose sur une approche issue du **contrôle financier** de l'unité associé à un **critère énergétique**. Ainsi, nous avons inclus dans le périmètre toutes les entités, les infrastructures et les équipements détenus financièrement par l'unité de stérilisation.

Pour chaque étape du circuit de stérilisation, les équipements détenus financièrement par l'unité ont été recensés. Afin de cibler les postes d'émissions les plus significatifs, un critère de matérialité a été appliqué : seuls les équipements d'une valeur d'acquisition supérieure à 10 000 euros HT correspondant à 0,5% du budget global annuel de l'unité de stérilisation et nécessitant une source d'énergie pour fonctionner (électricité, vapeur, eau...) ont été retenus dans le périmètre d'analyse. Ce double critère permet d'exclure les équipements légers, passifs ou à faible impact environnemental qui, bien qu'immobilisés, ne contribuent que peu aux émissions de GES. Cette approche permet d'optimiser la représentativité du bilan tout en limitant la complexité de la collecte de données. Un tableau des équipements concernés est présenté ci-dessous (Cf Tableau 6).

Tableau 6 : Budget des équipements de contrôle financier supérieur à 10 000 euros de l'unité de stérilisation et nécessitant une source d'énergie

Équipement	Nombre d'équipements	Budget (euros) au moment de l'achat	Nécessite une source d'énergie
Laveurs de pré-désinfection mécanisés	5	54 000	✓
Laveurs désinfecteurs électriques / vapeur	6	300 000	✓
Cabine de lavage	1	205 000	✓
Soudeuses électriques	5	42 000	✓
Stériliseurs à vapeur d'eau + générateurs de vapeur	5	728 000	✓
Stériliseurs au peroxyde d'hydrogène	1	91 700	✓
Osmoseurs et Adoucisseurs	3	140 000~150 000	✓
Centrale de traitement de l'air	1	110 000~150 000	✓
Système de surveillance environnementale / Supervision	1	77 000	✓

L'analyse des équipements immobilisés à hauteur de plus de 10 000 euros, croisée à la nécessité d'une source d'énergie a permis de définir 9 types d'équipements contrôlés financièrement par l'unité de stérilisation :

- Laveurs de pré-désinfection mécanisés
- Laveurs désinfecteurs électriques/à vapeur d'eau
- Cabine de lavage
- Soudeuses électriques

- Stérilisateurs à vapeur d'eau saturée
- Stérilisateurs à la vapeur de peroxyde d'hydrogène
- Osmoseurs et adoucisseurs
- Centrale de traitement de l'air
- Système de surveillance environnementale

Les ressources et services non détenus par l'unité de stérilisation (prestataires de transport, produits achetés, ...) n'étant pas sous le contrôle financier sont exclus du périmètre organisationnel. Cependant par souci de pertinence, certains postes d'émissions indirectes ont été estimés et présentés car l'unité peut avoir un impact opérationnel sur ceux-ci. Ainsi nous avons intégré :

- L'ensemble des **produits** achetés pour le fonctionnement du processus de stérilisation (fournitures d'emballage et conteneurs, équipements de protection individuelle et solutions détergentes-désinfectantes). L'achat des dispositifs médicaux est exclu du périmètre.
- L'ensemble des **services** achetés (réparation des instruments, entretien de l'unité, maintenance des équipements et lavage des tenues par la lingerie)
- Les **moyens humains**
- L'activité de **transport** pour la sous-traitance des activités.

Cette analyse nous a permis de définir une cartographie du périmètre organisationnel pour chaque étape du circuit à l'échelle de l'établissement et des établissements périphériques (Cf Figure 18).

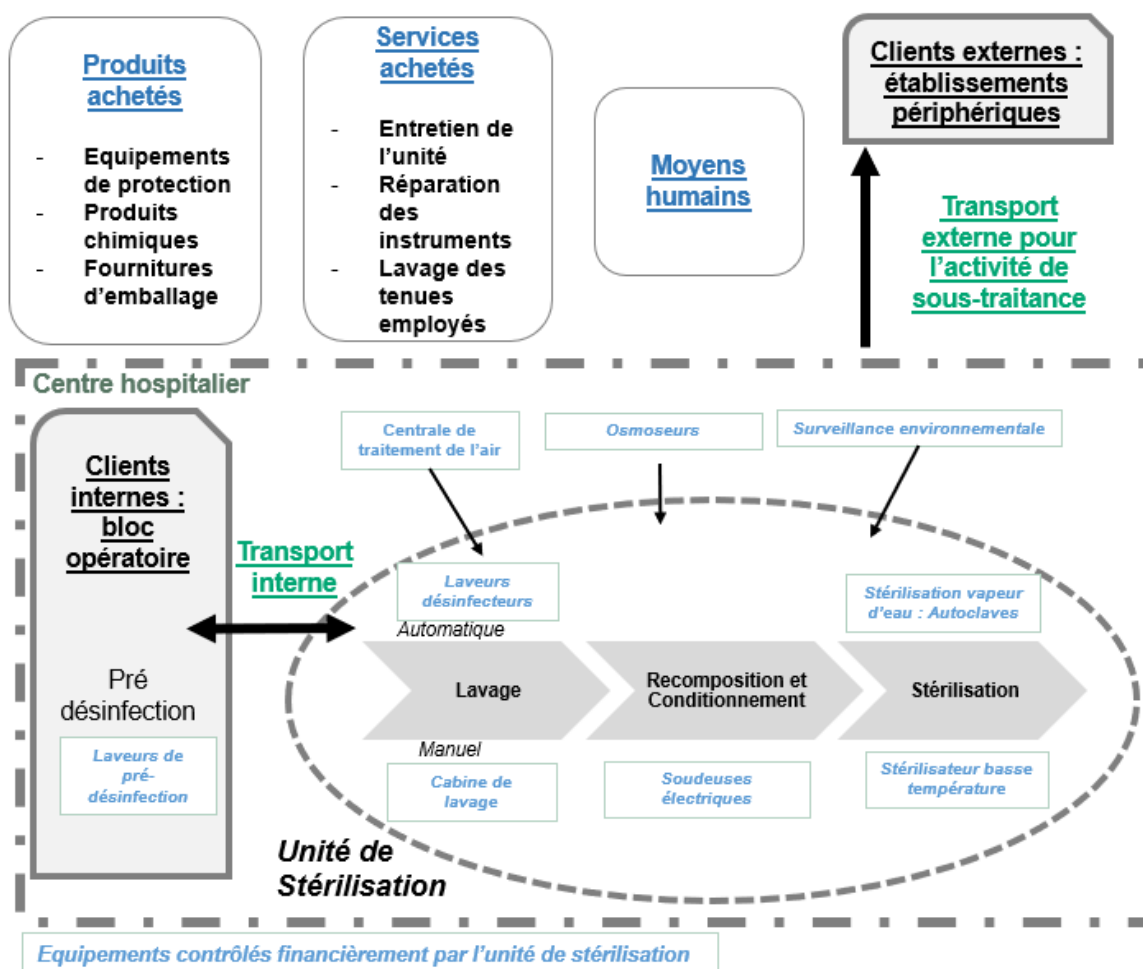


Figure 18 : Périmètre organisationnel de l'unité de stérilisation

1.2.2 Périmètre opérationnel

En considérant le périmètre organisationnel, nous avons listé l'ensemble des émissions de GES liées à chaque opération. Le tableau en Annexe A présente les équipements identifiés, les déchets et les impacts opérationnels de l'unité associés à leur type d'émissions ainsi que leur correspondance avec les postes du BEGES et leur classification selon les scopes du GHG Protocol (Annexe B).

Les émissions ont été regroupées par poste à l'aide d'un logiciel de traitement de données (Microsoft Excel®) afin d'être sélectionnées comme suit dans la Figure 19.

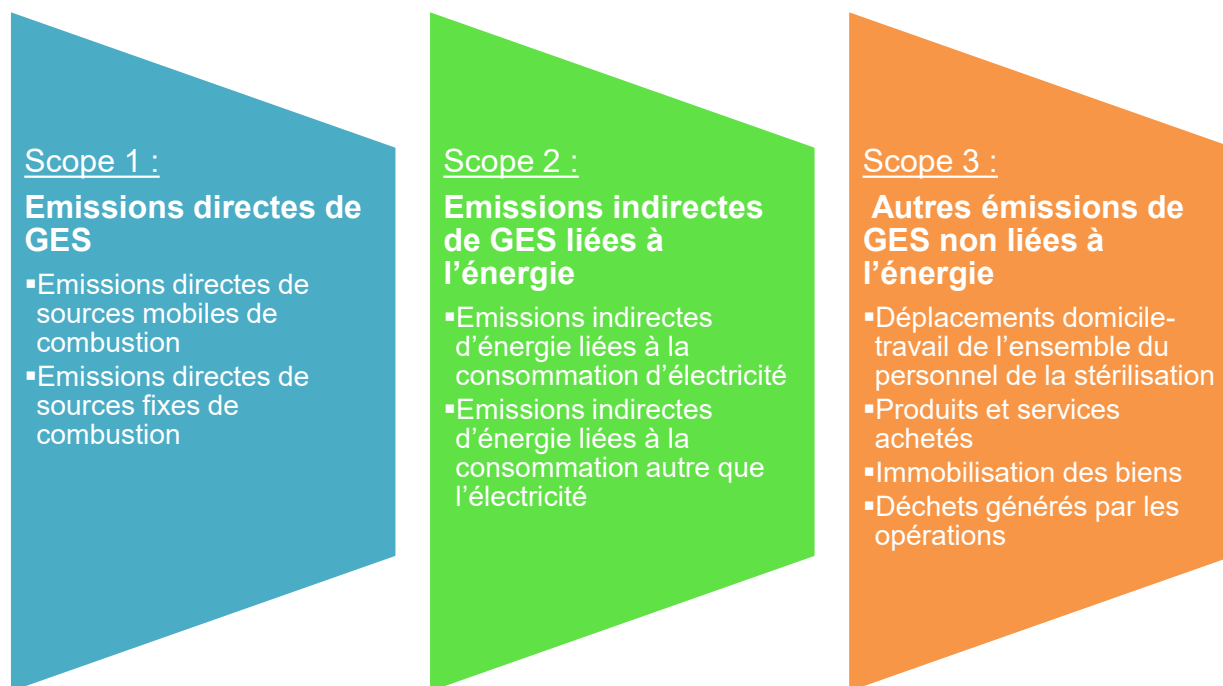


Figure 19 : Périmètre opérationnel du BEGES (Bilan des Emissions de Gaz à Effet de Serre) représentant les 3 scopes de la méthode

1.2.3 Collecte et calcul des données

L'estimation de l'émission de chaque opération en kilogramme ou tonne de CO₂ équivalent a été calculée selon la formule qui suit :

$$\text{Emission (kg/tCO}_2\text{eq)} = \text{Données d'activités} \times \text{Facteur d'émission}$$

La plupart des facteurs d'émissions sont extraits sous la forme d'un tableau de traitement des données (Microsoft Excel®) depuis la base Carbone®, base de référence produite et mise à jour par l'ADEME : la version de la base carbone utilisée est celle de 2022.

Certains facteurs d'émissions n'étant pas présent dans la base, nous nous sommes basés sur d'autres données. Un facteur d'émissions a été extrait à partir d'une ACV réalisées par la société Ecovamed®⁽⁴⁴⁾ ; il correspond au facteur d'émission des gants non stériles. Ensuite, le facteur d'émission des masques à usage unique a été extrait à partir d'une ACV réalisée par le CIRAIG® (Centre International de Référence sur l'Analyse du cycle de vie Impact Group)⁽⁴⁵⁾ et le facteur d'émission des charlottes par

le fournisseur ⁽⁴⁶⁾. La liste de l'ensemble des facteurs d'émissions utilisés dans l'étude est présentée en Annexe C.

Au total, trois méthodes de collectes des données d'activité ont été appliquées. Ces méthodes ont été au préalable classées selon leurs degrés de précision de mesure.

1.2.4 Mesure directe de la donnée d'activité

Lorsque les conditions et moyens étaient réunis, nous avons mesuré directement les données d'activité à l'aide d'instruments calibrés pour une précision optimale. Ces mesures ont été effectuées manuellement ou récupérées à partir des données des fournisseurs d'énergie puis extrapolées sur une année d'activité. Le Tableau 7 ci-après identifie les postes pour lesquels une mesure directe de l'activité a été réalisée.

Tableau 7 : Postes d'émissions pour lesquels l'activité a été mesurée directement

Scope GHG	Poste BEGES	Opération	Unité	Mesure directe
1.1	Emissions directes des sources mobiles de combustion	Gaz des chaudières à vapeur	kWh PCS	Consommation directe mesurée par le fournisseur interne au CH
2.2	Emissions indirectes liées à la consommation autre que l'électricité	Eau du service	m ³ d'eau	(Consommation issue du compteur d'eau
2.1	Emissions indirectes liées à la consommation d'électricité	Electricité du service	kWh	Consommation directe mesurée par le fournisseur interne au CH
2.1	Emissions indirectes liées à la consommation d'électricité	Centrale de traitement de l'air (CTA)	kWh	Consommation issue du compteur électrique de la CTA
4.3	Déchets générés par les opérations	Elimination des déchets assimilables aux ordures ménagères (DAOM)	kg	Consommation mesurée manuellement sur une semaine à l'aide d'une balance calibrée
4.5	Produits et services achetés	Equipements achetés	kg d'équipement	Consommation mesurée manuellement par une balance calibrée
4.5	Produits et services achetés	Service de lingerie	kWh PCS / kWh / m ³ d'eau	Consommation issue du compteur d'eau / directe mesurée par le fournisseur interne au CH

1.2.5 Mesure indirecte de la donnée d'activité à partir d'une estimation

Pour les opérations représentées dans le Tableau 8 ci-après, une mesure indirecte des émissions a été calculée à partir d'informations économiques issues de notre logiciel de gestion économique et financière ou de factures existantes, de distances domicile travail de l'ensemble du personnel et de volume d'eau théorique de consommation. L'ensemble de ces données a été extrapolées sur une année complète d'activité. Les données relatives à l'immobilisation des équipements ont été annualisées en tenant compte de leur amortissement financier selon une méthode linéaire en fonction de leur durée de vie prévue.

Tableau 8 : Postes d'émissions pour lesquels l'activité a été mesurée indirectement

Scope GHG	Poste BEGES	Opération	Unité
1.2	Emissions directes des sources mobiles de combustion	Transport lié à l'activité de sous-traitance	Distance routière en km
2.2	Emissions indirectes liées à la consommation autre que l'électricité	Eau produisant la vapeur d'eau des laveurs	m ³ d'eau
3.3	Déplacements domicile travail	Déplacements domicile/travail	Distance routière en km pondéré par le temps de travail
4.3	Déchets générés par les opérations	Eaux usées	m ³ d'eau
4.5	Produits et services achetés	Maintenance des équipements	Euros
4.5	Produits et services achetés	Bionettoyage	Euros
4.5	Produits et services achetés	Réparation des équipements	Euros
4.5	Produits et services achetés	Equipements	Euros
4.2	Immobilisation des biens	Immobilisation des biens	Euros

1.2.6 Mesure indirecte de la donnée d'activité à partir d'information fabricant

Pour estimer ces émissions, une mesure indirecte de l'activité a été réalisée à partir des consommations théoriques communiquées par les fabricants. Ces données ont ensuite été extrapolées sur une année complète en se basant sur les durées d'utilisation effectives. Les informations ont été extraites soit de notre logiciel de supervision, soit de notre logiciel de gestion économique et financière.

Cette méthodologie s'applique aux équipements relevant du poste « Émissions indirectes liées à la consommation d'électricité » correspondant au scope 2.1 du GHG

Protocol. Les équipements suivants ont été concernés par cette méthodologie : les laveurs de pré-désinfection, laveurs désinfecteurs électriques / vapeur, stérilisateurs à basse température, autoclaves, cabines de lavage, soudeuses et osmoseurs. L'unité de mesure utilisée est le kilowattheure (kWh).

La même approche a été utilisée pour le poste « Produits et services achetés », correspondant au scope 4.5 du GHG Protocol afin d'estimer les émissions liées aux consommables achetés. Dans ce cas, les unités utilisées sont le poids ou la quantité de dispositifs médicaux acquis.

1.2.7 Type d'étude :

Concernant la période d'analyse, nous avons récupéré les données de l'année 2022 pour les 3 segments (scopes) d'analyse. L'ensemble des données récoltées est issu des consommations de stérilisation de l'unité du Centre Hospitalier de Valenciennes. Elles ont été compilées puis calculées à l'aide d'un logiciel de traitement de données (Microsoft Excel®).

1.3. Emissions chimiques

Afin d'évaluer l'impact potentiel des émissions chimiques sur la santé humaine et sur l'écotoxicité en eau douce, nous réalisons une évaluation des émissions chimiques. Le périmètre de l'étude couvre l'ensemble des produits chimiques utilisés au cours du processus de stérilisation en 2024 depuis la pré-désinfection des dispositifs médicaux jusqu'à la mise à disposition dans l'arsenal de bloc opératoire.

Le recueil des données a débuté par un inventaire exhaustif des substances chimiques présentes dans l'unité. Cet inventaire a été réalisé par observation directe et consultation des stocks et des commandes. Pour chaque produit identifié, la FDS** (Fiche de Données de Sécurité) à jour a été récupérée auprès du fournisseur.

*** document destiné à fournir aux utilisateurs d'une substance ou d'un mélange les informations nécessaires concernant les dangers, ainsi que les conseils de sécurité relatifs à leur utilisation, leur stockage, leur transport et leur élimination.*

1.3.1 Evaluation des risques

Tout d'abord, une évaluation des risques a été réalisé à partir de l'outil **SEIRICH**[®] (Système d'Évaluation et d'Information sur les Risques Chimiques) ⁽⁴⁷⁾ développé par l'INRS (Institut National de Recherche et de Sécurité). Ce logiciel a permis d'estimer pour chaque produit le niveau de risque présumé pour la santé humaine et l'environnement en fonction de sa dangerosité, de sa fréquence d'utilisation et de la quantité manipulée sur l'année 2024. Une analyse de niveau 1 a permis de hiérarchiser les substances à risque.

1.3.2 Complément d'évaluation toxicologique

Les données issues de la base SEIRICH[®] ont été enrichies par une analyse complémentaire des propriétés toxicologiques de chaque substances actives à partir des sections 11 et 12 des FDS ainsi que des bases de données de l'**ECHA** (Agence Européenne des produits chimiques), **INRS** et **PubChem**. En effet, afin d'évaluer la toxicité pour l'homme, les paramètres étudiés ont inclus les mentions de danger, les valeurs de DL₅₀ et CL₅₀ ainsi que les éventuelles classifications comme substance CMR (cancérogène, mutagène, reprotoxique). L'évaluation de l'écotoxicité en eau douce s'est fondée sur les données disponibles relatives à la toxicité aiguë (CL₅₀, CE₅₀ pour les poissons, daphnies et algues), à la biodégradabilité et au potentiel de bioaccumulation.

1.4. Utilisation de l'eau

Le potentiel de privation de l'eau (Water Deprivation Potential, WDP) a été évalué conformément au modèle consensuel AWARE[®] ⁽⁴⁸⁾ (Available Water REmaining) développé par le groupe WULCA[®]. Ce modèle permet de quantifier l'impact de la consommation d'eau sur la disponibilité résiduelle pour d'autres utilisateurs (humains et naturels) en prenant en compte le stress hydrique. Les flux de consommation d'eau ont été caractérisés à l'aide de la formule suivante :

$$\mathbf{WDP} = \mathbf{V} \text{ (volume d'eau consommé en m}^3\text{)} \times \mathbf{CF} \text{ (facteur régional de caractérisation en m}^3\text{ équivalent manquant par m}^3\text{ consommé)}$$

Ce calcul concerne uniquement les eaux bleues, c'est-à-dire les eaux de surface ou souterraines prélevées dans le milieu naturel pour un usage industriel ou domestique. Dans cette étude, le site d'analyse se situe à Valenciennes (France) rattaché au bassin versant de la Scarpe, Sensée et de l'Escaut selon la base de données géospatiale **AWARE 2.0®**. Le facteur annuel retenu est celui correspondant à un usage non-agricole soit $CF = 4,09$. L'impact est exprimé en m^3 d'eau équivalent manquant. Il représente le volume d'eau potentiellement indisponible pour d'autres usages pondérés par le stress hydrique local.

1.5. Utilisation des ressources fossiles

L'utilisation des ressources fossiles est évaluée en se concentrant sur les consommations d'énergie en gaz naturel et en électricité. L'analyse ne tient pas compte du paramètre d'extraction de matières minérales. L'approche retenue repose sur la méthode définie par *Van Oers et al.* (2002) ⁽⁴⁹⁾. L'ADP (Abiotic Depletion Potentiel) fossile est exprimé en Mégajoules (MJ) et correspond à la quantité d'énergie consommée. Les données utilisées sont issues de relevés internes datant de 2022 concernant la consommation annuelle de gaz (en kWh PCS) et d'électricité (en kWh) de l'unité. Ces données ont été converties en mégajoules à l'aide de facteurs standards : 1 kWh équivaut à 3,6 MJ.

En France, la part fossile de la production électrique est très faible grâce à la prédominance du nucléaire et des énergies renouvelables. Afin de tenir compte de l'origine mixte de l'électricité, seule la fraction issue de sources fossiles a été prise en compte dans le calcul de l'ADP électrique en se basant sur une part moyenne estimée à 7% ⁽⁵⁰⁾. Ainsi, l'énergie fossile totale a été calculée en additionnant l'intégralité de la consommation de gaz naturel et la portion fossile de l'électricité.

2. Impacts sociétaux d'une unité de stérilisation

Dans l'objectif d'évaluer les impacts sociétaux de l'unité de stérilisation, nous réalisons un audit interne permettant d'évaluer la QVCT. Le périmètre d'activité comprend l'ensemble du personnel dépendant de l'unité de stérilisation réparti en 3 catégories : agents de production, agents administratifs et encadrement. Le choix des

indicateurs repose sur les six principes d'évaluation de la QCVT définis par l'ANACT (Agence National de l'Amélioration des Conditions de Travail ⁽⁵¹⁾ en juillet 2024 :

- Organisation, contenu et réalisation du travail
- Compétence et parcours professionnels
- Egalité au travail
- Projet d'entreprise et management
- Dialogue social et professionnel
- Santé au travail et prévention

Afin de couvrir de manière exhaustive l'ensemble des principes d'évaluation adaptés à une unité de stérilisation, des indicateurs spécifiques pour chaque thématique ont été sélectionnés puis décrits. Pour chaque indicateur, différents critères d'évaluation ont été identifiés et le Tableau 9 décrit l'ensemble des indicateurs et critères sélectionnés.

Tableau 9 : Matrice des indicateurs sociétaux évalués et critères d'évaluation

Famille d'indicateurs	Description de l'indicateur	Critères d'évaluation
Egalité au travail	Répartition de l'effectif par tranche d'âge	Nombre d'employés par tranche d'âge
	Proportion d'hommes et de femmes dans l'unité	Proportion d'hommes et de femmes
	Ancienneté moyenne des employés	Moyenne d'ancienneté
Santé au travail et prévention	Niveau de charge de travail perçu par les employés	Niveau de satisfaction
	Niveau de satisfaction des employés sur les actions de santé au travail	Niveau de satisfaction
	Évaluation du stress au travail	Niveau de stress mesuré
	Proportion d'employés exposés à des risques professionnels	Taux d'exposition observé
	Disponibilité et conformité des équipements de sécurité	Présence d'équipements de sécurité
Organisation, contenu et réalisation du travail	Qualité et confort de l'environnement physique de travail	Niveau de satisfaction
	Propreté et hygiène des espaces de travail	Évaluation de l'hygiène des espaces de travail
	Clarté et répartition des tâches dans l'unité	Niveau de satisfaction
Compétence et parcours professionnel	Degré d'autonomie accordé aux employés dans leurs missions	Niveau de satisfaction
	Taux de mobilité des employés au sein de l'unité	Proportion d'employés en mobilité
	Proportion d'employés ayant suivi une formation continue	Proportion ayant accès à des formations
	Employés ayant accès à des opportunités d'évolution	Niveau de satisfaction
Dialogue social et professionnel	Tutorat/compagnonnage lors de l'arrivée d'un arrivant	Proportion d'agent ayant bénéficié d'un tutorat
	Nombre de projet collaboratifs ayant eu lieu sur l'année	Nombre de projets sur l'année
	Qualité des relations entre collègues	Niveau de satisfaction
	Qualité des relations avec la hiérarchie	Niveau de satisfaction
Projet d'entreprise et management	Clarté de la vision des objectifs de l'unité	Niveau de satisfaction
	Perception des agents concernant leur participation aux décisions importantes	Taux de participation aux réunions management
	Qualité du soutien fourni par les responsables	Niveau de satisfaction

Les critères d'évaluation ont été collectés dans un premier temps à partir d'une extraction directe des données depuis les logiciels de gestion des employés. Ensuite, nous avons soumis aux agents un questionnaire de satisfaction anonyme présentant les critères évalués sous la forme d'une échelle de Likert (Annexe D). Les données ont été récoltées pendant une période de 2 semaines à partir d'une grille papier et dématérialisée (GoogleForms®). Les données ont été compilées puis analysées à partir d'un logiciel de traitement de données (Microsoft Excel®) par analyse quantitative et qualitative. Les données ont été récoltées en juillet 2025.

3. Impacts économiques d'une unité de stérilisation

Les référentiels développés par l'ANAP et la SF2S reposent sur la notion d'Unité d'œuvre (UO Sté) ⁽³⁸⁾. Cet UO Sté est basée sur la comptabilisation du nombre de compositions réparti en catégories (Page 46). Le modèle économique de notre unité de stérilisation intègre une comptabilisation à l'instrument (S).

Afin d'évaluer l'impact économique de ce modèle, nous avons conduit une analyse comparative entre deux scénarios : l'un basé sur le modèle UO Sté utilisé par l'ANAP et la SF2S et l'autre fondé sur notre modèle. Ainsi, nous avons retenu un échantillon représentatif de 7 compositions de plateaux ou dispositifs médicaux. Pour chaque scénario, nous avons calculé le cout d'un UO et d'un « S » à partir des barèmes établis sur une période d'un an.

Les compositions sélectionnées ont été les suivantes :

- Boite de laparotomie gynécologique
- Boite de laparotomie viscérale
- Plateau pour chirurgie du tendon
- Boite de césarienne
- DM en prêt
- Plateau suture
- Instrument individuel

II. Revue des systèmes et technologies émergents

La revue des systèmes émergents a été conduite à partir des résultats descriptifs du bilan écologique disponibles à partir de la page 69. Afin de cibler les éléments à fort impact, nous avons défini le périmètre d'analyse selon deux axes principaux. D'une part les équipements les plus énergivores, sur la base des données des émissions de GES concernant l'utilisation de l'eau et l'utilisation des ressources fossiles ont été sélectionnés. D'autre part, les produits chimiques présentant le plus haut niveau de risque sur l'écotoxicité en milieux aquatiques ont été retenus. Les équipements et produits chimiques inclus dans l'analyse sont présentés dans Tableau 10 ci-après.

Tableau 10 : Présentation des équipements et produits retenus pour étude de systèmes et technologies émergents

Équipement / Produit chimique	Type d'émissions énergivore/toxique	Valeur
Autoclaves (Fonctionnement, pompe à vide, générateur de vapeur)	Electrique (gaz à effet de serre)	40 tCO ₂ eq
	Immobilisation et maintenance (gaz à effet de serre)	68,5 tCO ₂ eq
	Utilisation de l'eau	7 681 m ³ eq. Manquant
Laveurs désinfecteurs	Utilisation de ressource fossile	2 529 000 MJ
	Utilisation de l'eau	16 221 m ³ eq. Manquant
Centrale de traitement de l'air	Electrique (gaz à effet de serre)	15 tCO ₂ eq
Détergents désinfectants (SURFANIOS® et ANIOSYME X3®)	CE ₅₀ Daphnie (48h)	0,006 – 0,073mg/L
Chlore dilué	CE ₅₀ Algues (72h)	0,04 mg/L
Sterilisateur à basse température au peroxyde d'hydrogène	Immobilisation et maintenance (Gaz à effet de serre)	8,6 tCO ₂ eq
	Toxicité humaine du peroxyde d'hydrogène	Risque potentiel CMR

Pour chaque équipement ou produit chimique identifié, nous avons contacté de manière exhaustive l'ensemble des fournisseurs connus afin de recueillir des

informations relatives aux performances en matière de développement durable. Des questions ont été transmises par courrier électronique. En cas d'absence de réponse, une relance était effectuée au bout de deux semaines avant de ne pas être cité. Le questionnaire adressé était relatif aux technologies développées permettant l'optimisation énergétique (eau et électricité), la réduction de consommation de ressources (fossiles ou déchets) et toute autre initiative visant à limiter l'impact environnemental. Parallèlement, une recherche bibliographique a été menée pour identifier les systèmes et procédés émergents dans chacune des catégories identifiées. Cette revue a intégré des publications scientifiques et des rapports techniques.

III. Mise en place d'actions durables

A partir de l'analyse descriptive et d'une analyse des postes les plus émetteurs, nous avons mis en place des actions correctives durables sur la base des critères de sélection suivants :

- Impact environnemental attendu
- Faisabilité opérationnelle
- Coûts économiques
- Acceptabilité des équipes

Ces actions correctives ont été validées institutionnellement par un comité avant mise en place (comité d'hygiène, comité technique et comité économique).

Résultats

I. Impacts écologiques, sociétaux et économiques d'une unité de stérilisation

1. Emissions des gaz à effets de serre :

Au total, les activités de l'unité de stérilisation ont généré **571 tonnes de dioxyde de carbone équivalent** au cours de l'année 2022 (Figure 20) soit 327 gCO₂eq par instrument stérilisé.

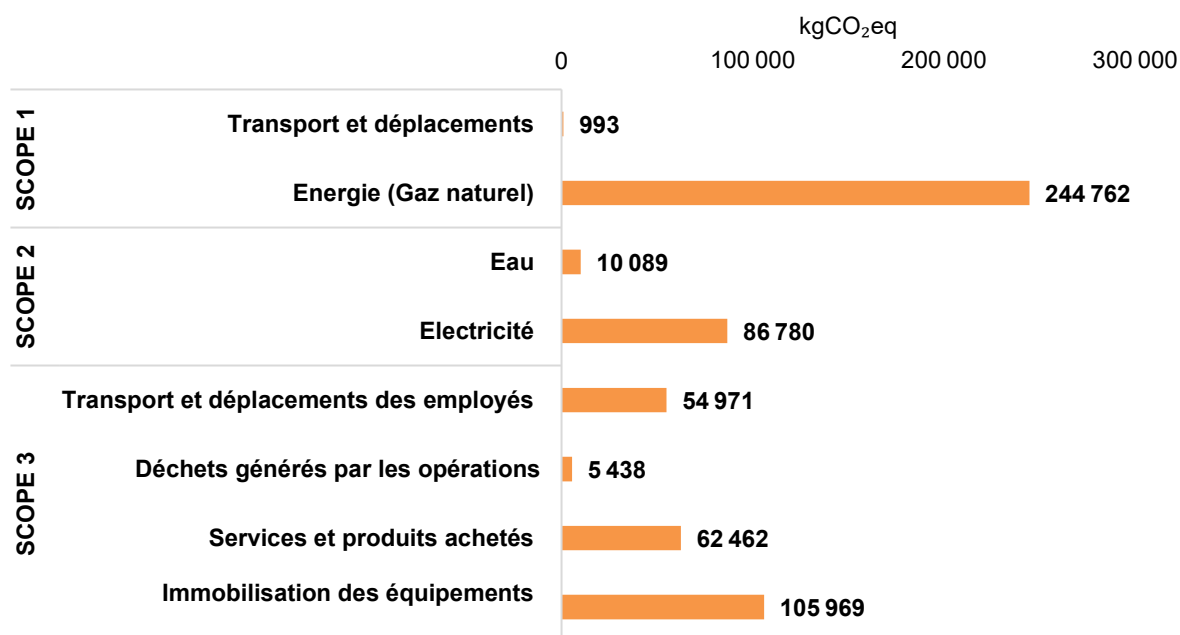


Figure 20 : Emission de gaz à effet de serre d'une unité de stérilisation

1.1. Scope 1 : Emissions directes de gaz à effet de serre

Les émissions directes de GES peuvent être divisées en deux catégories.

- Emissions provenant de l'utilisation du **gaz naturel** qui représentent **245 tCO₂eq**
 - 150 tCO₂eq sont liées à la combustion de gaz permettant de produire de la vapeur d'eau pour alimenter **l'énergie calorifique des laveurs désinfecteurs**. En effet, ils cumulent une activité énergétique de 693 158 kWh PCS (Pouvoir Calorifique Supérieur) par an.
 - 95 tCO₂eq sont utilisées pour produire de la vapeur d'eau permettant d'alimenter le **chauffage** de l'unité de stérilisation. L'activité énergétique est mesurée à 440 000 kWh PCS par an pour cette opération.

- Emissions des **transports** de l'activité de sous-traitance qui représentent **1 tCO₂eq**.

Parmi les émissions liées au transport, nous avons considéré les émissions liées à notre activité de sous-traitance. Ces transports sont réalisés par une voiture à énergie thermique pour 2 centres. Le premier centre cumule une activité de 520 km par an et le second centre 4 160 km sur une année. Trois facteurs d'émissions ont été utilisés pour mesurer le bilan carbone de l'activité d'un véhicule diesel moyen datant de 2018 : les émissions liées à la fabrication du carburant, celles dues à sa combustion ainsi que celles provenant de l'extraction du carburant.

La Figure 21 illustre ces résultats.

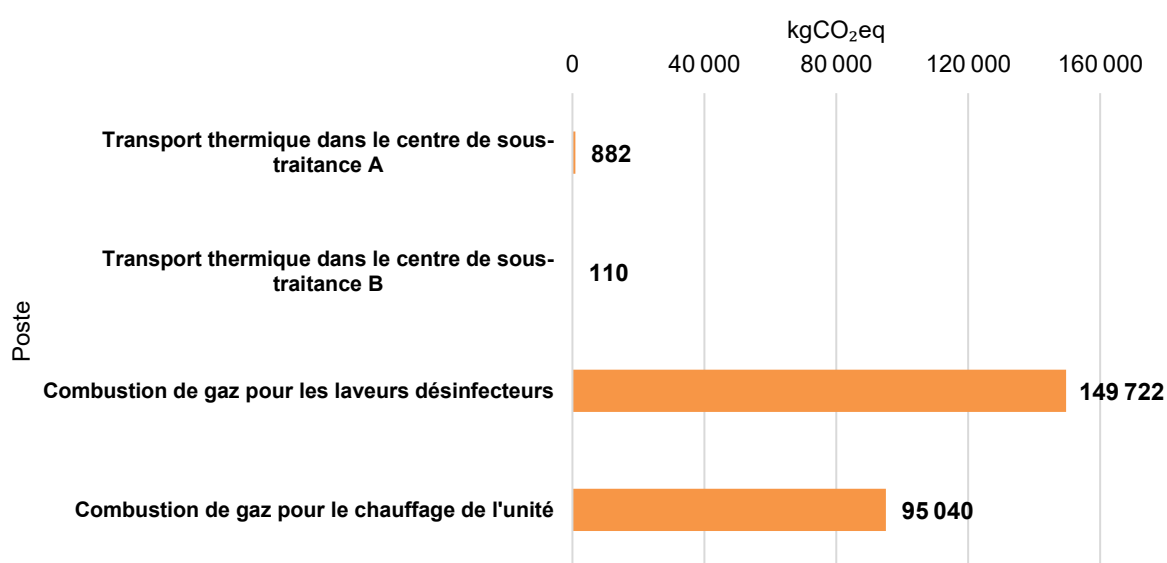


Figure 21 : Emission de gaz à effet de serre du scope 1 : émissions directes

1.2. Scope 2 : Emissions indirectes de gaz à effet de serre associées à l'énergie

L'analyse des émissions indirectes de GES se concentre principalement sur deux vecteurs énergétiques essentiels au fonctionnement des services hospitaliers : **l'eau** et **l'électricité**. Ces deux ressources, bien qu'elles ne soient pas des sources directes de combustion engendrent des impacts environnementaux en raison de l'énergie nécessaire à leur production, leur traitement et leur distribution.

1.2.1 Emissions indirectes d'énergie liées à la consommation autre que l'électricité : l'eau

Les émissions de gaz à effet de serre liées à la consommation d'eau s'élèvent à **10 089 kg de CO₂ eq.** En effet, environ 16 millions de litres d'eau sont utilisés par l'unité sur l'année 2022.

- Parmi cette quantité, **14,8 millions de litres** sont directement consommés par l'unité de stérilisation pour les **usages internes** du service :
 - Eau brute du réseau : alimentation des équipements nécessaires au fonctionnement de l'unité (chasse d'eau, eau froide permettant le lavage des mains des agents)
 - Eau adoucie : alimentation des LD (laveurs désinfecteurs) pour la partie Lavage, cabine de lavage, laveurs pré-désinfecteur situés au bloc opératoire et fonctionnement de l'unité de stérilisation (eau chaude).
 - Eau osmosée : alimentation des LD pour la partie rinçage, eau destinée aux générateurs de vapeur pour stérilisation à la vapeur d'eau saturée.

L'unité de stérilisation possède des LD à vapeur et électriques (4 LD à vapeur et 2 LD électriques). La différence principale est liée à l'étape de chauffe de l'eau par un échangeur thermique. Les LD à vapeur utilisent du gaz naturel pour produire de la vapeur d'eau alors que les laveurs électriques utilisent une résistance électrique.

- Un volume complémentaire de **1,2 million de litres** est consacré à la **production de vapeur** destinée aux laveurs-désinfecteurs à vapeur. Ce

procédé contribue à hauteur de 700 kg de CO₂eq supplémentaires. Il a permis la production de 1 073 tonnes de vapeur d'eau saturé en 2022.

1.2.2 Emissions indirectes d'énergie liées à la consommation d'électricité

L'électricité est quant à elle émettrice de **87 tCO₂eq** (Cf Figure 22).

La majorité des émissions liée aux consommations électriques (46 %) est attribuable aux **autoclaves** :

- Aux générateurs de vapeur associés (37,8 tCO₂eq)
- Au fonctionnement des autoclaves (1 tCO₂eq)
- Aux pompes à vide sèches (1 tCO₂eq)

Par ailleurs, les émissions électriques liées au fonctionnement de la **centrale de traitement de l'air** ont généré 15 tCO₂eq. En effet, le soufflage et l'aspiration ont requis une puissance électrique annuelle de 258 420 kWh dont 31 000kWh nécessaires au refroidissement de l'air. La consommation des CTA est majoritairement liée à la ventilation (48 %), la production de froid (40 %) et au chauffage (12 %).

Suivant le même raisonnement, les émissions liées aux 2 673 cycles de **cabine de lavage** exploitant chacun 130 kW dépassent également les 10 tonnes de CO₂eq pour 35 minutes par cycle soit 1 559 heures de fonctionnement annuelle.

À l'inverse, parmi les sources d'émissions électriques les plus faibles figurent l'énergie liée au **fonctionnement électrique de l'unité de stérilisation** (23 kgCO₂eq), l'énergie nécessaire au fonctionnement des 5 **laveurs pré-désinfecteurs** mécaniques (PDM situés au bloc opératoire) (359 kgCO₂eq), soit 72 kgCO₂eq par PDM et l'utilisation des **soudeuses électriques** (940 kgCO₂eq) avec une utilisation calculée cumulée de 30 minutes quotidienne pour chacune des 5 soudeuses électriques.

Le **stérilisateur au peroxyde d'hydrogène** a fonctionné 514 heures correspondant à 1 131 kWh. Le mode veille de l'appareil a généré une consommation de 5 772 kWh. On peut donc considérer que 83% des émissions de GES de celui-ci (359 kgCO₂eq) sont liées à son fonctionnement de veille.

En ce qui concerne les **laveurs désinfecteurs** :

- Les 2 laveurs désinfecteurs électriques ont consommé une énergie équivalente à 113 586 kWh pour 5 679 heures de fonctionnement annuelle et 5 163 cycles. Cela correspond à une émission de 7 463 kg de CO₂ équivalent. Un cycle moyen émet donc 1,45 kgCO₂eq lié à sa consommation électrique.
- Les 4 laveurs désinfecteurs à vapeur ont utilisé 88 836 kWh de puissance électrique pour 8 883 heures de fonctionnement et 8 076 cycles. Cela correspond à une émission carbonée équivalente de 5 906 kg uniquement sur la partie électrique. Un cycle moyen émet donc 0,73 kgCO₂e lié à sa consommation électrique.

Enfin, les trois **osmoseurs** requièrent chacun une énergie d'1 kWh pour 8760 heures de fonctionnement. Cette consommation a été source d'émission de 4 619 kgCO₂eq.

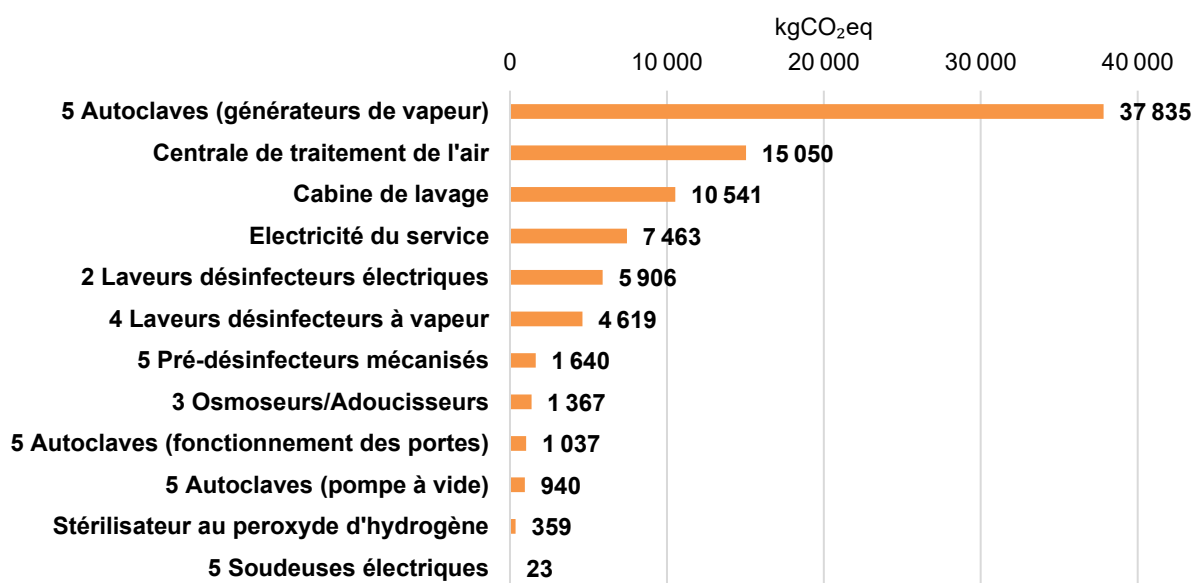


Figure 22 : Emissions globales de gaz à effet de serre liées à la consommation électrique pour chaque catégorie d'équipements

La Figure 23 présente les émissions individuelles par équipement.

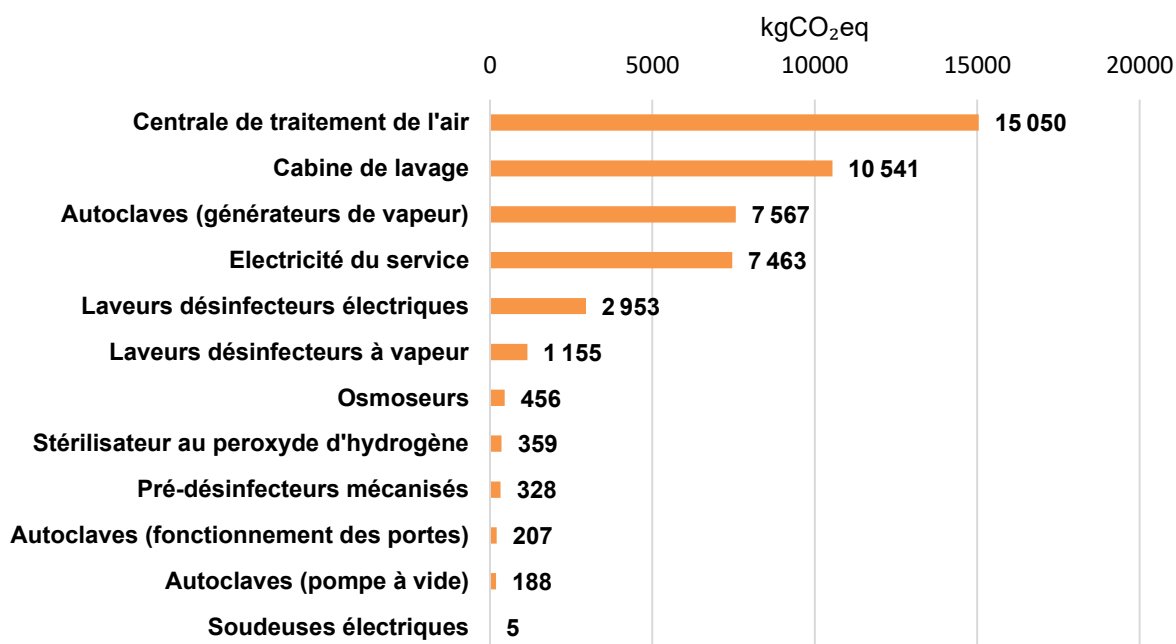


Figure 23 : Emissions individuelles de gaz à effet de serre liées à la consommation électrique de chaque équipement

1.3. Scope 3 : Autres émissions de gaz à effet de serre non liées à l'énergie

1.3.1 Déplacements domicile-travail du personnel de l'unité de stérilisation

Les émissions liées au déplacement domicile travail des 37 agents administratifs, d'encadrement et de production travaillant dans l'unité de stérilisation, pondéré par les congés et temps partiels, représentent **54 971 kg de CO₂ équivalent** (Figure 24) pour une voiture de motorisation à essence de parc moyen (voiture thermique compacte/berline de 5 à 7 chevaux fiscaux). En effet, 246 064 km ont été parcourus sur l'année 2022 par l'ensemble des agents. Ces résultats prennent en compte le lieu de résidence des agents.

- Les émissions en « **Amont** » liées à l'extraction du pétrole, du raffinage et du transport de l'essence jusqu'à la station-service comptabilisent **6 299 kg de CO₂ équivalent**.

- Les émissions directes générées par les véhicules pendant leur utilisation **39 862 kg de CO₂ équivalent**. Ces émissions sont comptabilisées dans le poste « **Combustion** ».
- Les émissions liées à la « **Fabrication** » des véhicules et à l'extraction des matières premières (fabrication des composants et assemblage des véhicules) **8 809 kg de CO₂ équivalent**.

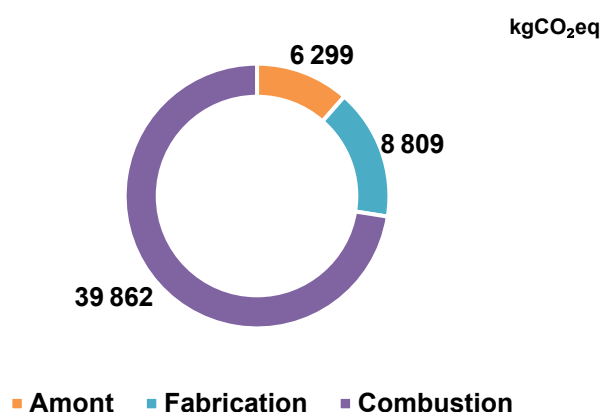


Figure 24 : Emissions de gaz à effet de serre liées aux déplacements domicile-travail des agents

1.3.2 Produits et services achetés

Les produits et services achetés représentent la 4ème plus grosse émission de GES avec 62 462 kgCO₂eq émis et se répartissent comme suit.

- Les émissions liées aux **achats** représentent 15 916 kgCO₂eq (25%) et comptabilisent l'achats des articles de conditionnements et des EPI.
- Les **services** achetés représentent 46 546 kgCO₂eq (75%) et comptabilisent la maintenance des équipements, la réparation des dispositifs médicaux, le nettoyage des tenues et le bionettoyage de l'unité.

1.3.3 Produits achetés

a) Equipements de protection individuelle

Les EPI génèrent un total de 2 827 kg de CO₂ équivalent :

- À eux seuls, les 107 280 **gants** utilisés au cours de l'année représentent 2 521 kg de CO₂eq (89 % des émissions liées aux EPI).
- La consommation de 4 650 **charlottes** à usage unique a engendré 16 kg de CO₂eq.
- Les **masques** à usage unique utilisés ont généré 290 kg de CO₂ équivalent.

b) Articles de conditionnement

En 2022, **58 000 feuilles d'intissés** SMMS en polypropylène ont été utilisées. Cela représente un peu plus de 5 tonnes de feuilles et une émission de **10 512 kg de CO₂eq** soit 66% de l'ensemble des produits achetés. Le poste d'achat des rouleaux de rubans adhésifs exprimant un indicateur coloré lors du passage de l'agent stérilisant émet quant à lui 28 kgCO₂eq. En effet, plus de 4km de ruban ont été utilisés représentant un poids de 21,25 kg.

Les **conteneurs** en aluminium anodisé, d'un poids moyen de 3kg, ont émis **2 211 kgCO₂eq**. Cette émission a été amortie sur une période de 10 ans, correspondant à la durée d'amortissement financier de leur achat.

Les articles liés à l'utilisation des conteneurs sont sources de 338 kg de CO₂eq. Il s'agit des scellés en polypropylène émettent 228 kg de CO₂ équivalent et les filtres en papier 110 kg CO₂eq. La Figure 25 présente la répartition de ces émissions.

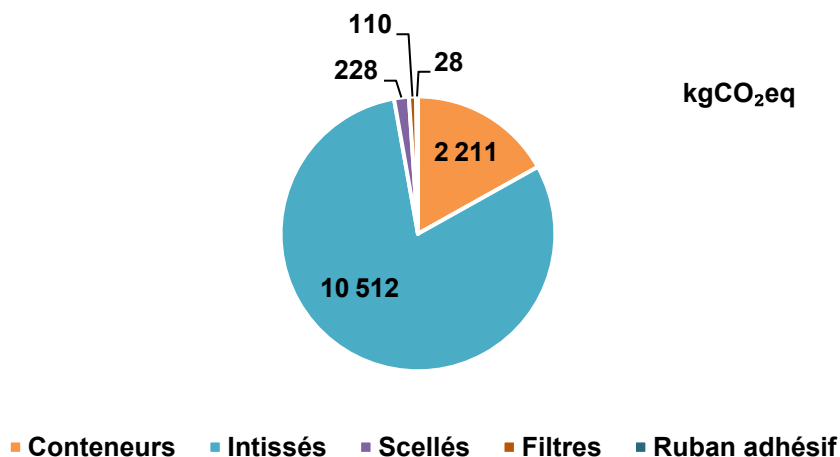


Figure 25 : Emissions de gaz à effet de serre liée aux articles de conditionnement

- Au total, l'achat permettant de réaliser le conditionnement de 200 paniers à l'aide de 400 feuilles d'intissés moyenne et ruban adhésif associé émet 72,5 kgCO₂eq.
- L'achat d'un conteneur en aluminium additionné avec l'achat du conditionnement de 200 filtres et scellés associées émet 30 kgCO₂eq (ces données ne prennent pas en compte les GES liés au retraitement et à la maintenance des conteneurs).

1.3.4 Services achetés

a) Maintenance des équipements

La maintenance des équipements au sein de l'unité de stérilisation a engendré un coût total de 155 744 euros pour une émission associée de 33 485 kg de CO₂ équivalent. Cette estimation inclut l'ensemble des postes d'émissions liés à cette activité notamment les déplacements des agents, l'utilisation de véhicules pour le transport du matériel, la consommation énergétique des équipements ainsi que l'usage de produits de nettoyage et d'entretien (nettoyage des cuves pour autoclaves, huiles de lubrification...). La Figure 26 détaille la répartition des émissions de gaz à effet de serre par type d'équipement concerné.

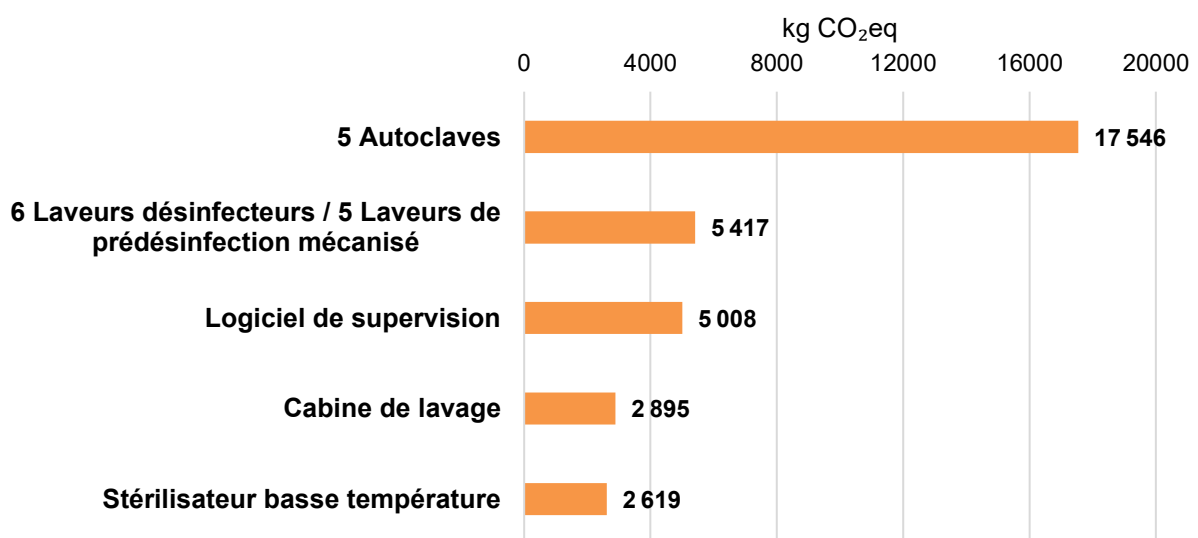


Figure 26 : Emissions de gaz à effet de serre liées à la maintenance des équipements

Le volume de maintenance est négligeable pour les soudeuses électriques puisqu'il ne concerne pratiquement que les qualifications annuelles.

b) Nettoyage des tenues des agents

Les émissions associées au nettoyage des tenues du personnel réalisé par la lingerie en interne sont estimées à 1 379 kg de CO₂ équivalent. Au total, 11 790 tenues ont été traitées. Ce service a nécessité la consommation de :

- 31 861 litres d'eau soit 20 kg de CO₂eq
- 1 195 kWh d'électricité soit 62 kg de CO₂eq
- 6 003 kWh PCS de gaz pour la production de vapeur d'eau soit 1 298 kg de CO₂eq

c) Autres services

Deux services supplémentaires ont émis 11 600 kg de CO₂eq :

- Les émissions générées par le **bionettoyage** quotidien sont estimées à 208 kg de CO₂ équivalent.
- Les opérations de **réparation des instruments** chirurgicaux représentent une source d'émissions évaluée à 11 474 kg de CO₂ équivalent.

1.3.5 Immobilisation des biens

L'évaluation des GES associées à l'immobilisation des équipements de stérilisation fait apparaître un total de **106 tgCO₂eq** (Cf Figure 27) pour l'ensemble du parc étudié. Cette estimation repose sur une annualisation des données d'achat sur 10 ans d'utilisation.

- **Autoclaves** : Les cinq autoclaves analysés représentent un coût total d'immobilisation de 728 210 euros soit 72 821 euros par an. Leur impact carbone annuel est estimé à 51 tCO₂eq
- **Laveurs-désinfecteurs** : Les six laveurs, pour un coût total de 300 000 euros (soit 30 000 euros/an) génèrent une émission annuelle de 21 tCO₂eq
- L'équipement de **stérilisation au peroxyde d'hydrogène** : D'un coût de 91 640 euros (soit 9 164 euros/an) cet appareil est responsable de 6 tCO₂eq par an
- La **cabine de lavage**, pour un coût total de 200 000 euros génère une émission de 14 tCO₂eq
- Les **Osmoseurs** et **Adoucisseurs** sont responsables d'un total de 10 tCO₂eq
- Les **PDM** sont responsables d'une émission de 3 780 kgCO₂eq

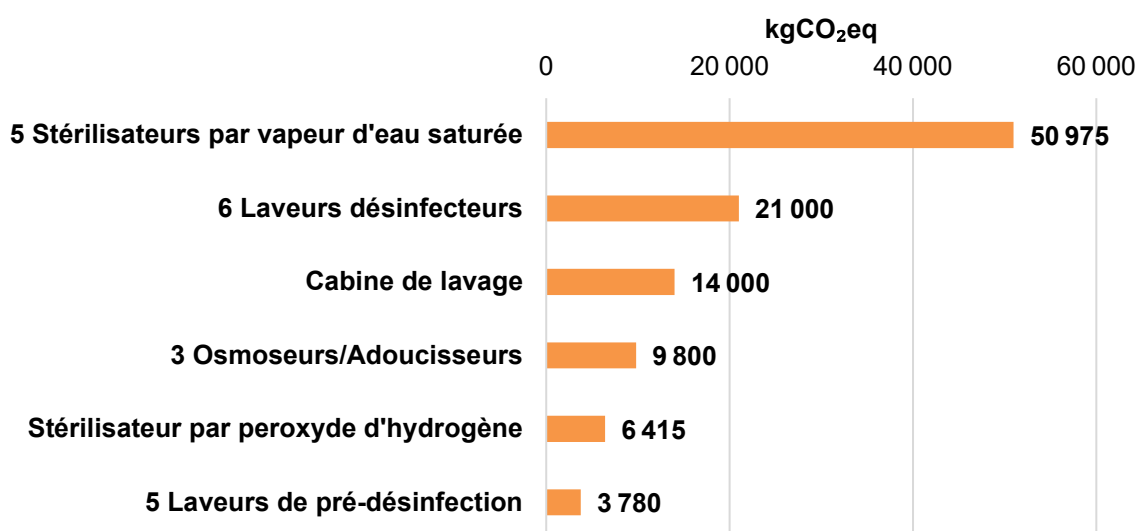


Figure 27 : Emissions de gaz à effet de serre liées à l'immobilisation des biens

Les autoclaves sont les principaux contributeurs aux émissions liées à l'immobilisation représentant à eux seuls près de 48 % des émissions de cette catégorie.

1.3.6 Déchets générés par les opérations

Les déchets générés par les opérations de l'unité de stérilisation sont responsables de **5 438 kgCO₂eq** (Cf Figure 28).

Elles ont été catégorisées en 2 types : les DAOM (Déchets assimilables aux ordures ménagères) et les eaux usées. Les DASRI (Déchets d'Activités de Soins à Risques Infectieux) n'ont généré aucune production identifiable au sein de l'unité de stérilisation.

La quantité de DAOM a été évaluée à partir de collectes réalisées sur une semaine d'activité dans les zones sales et propres de l'unité de stérilisation. Le poids total relevé s'élève à 64 kg ce qui, extrapolé sur une année, correspond à 3 340 kg de DAOM produits. L'empreinte carbone associée à ce volume est estimée à 1 214 kgCO₂eq.

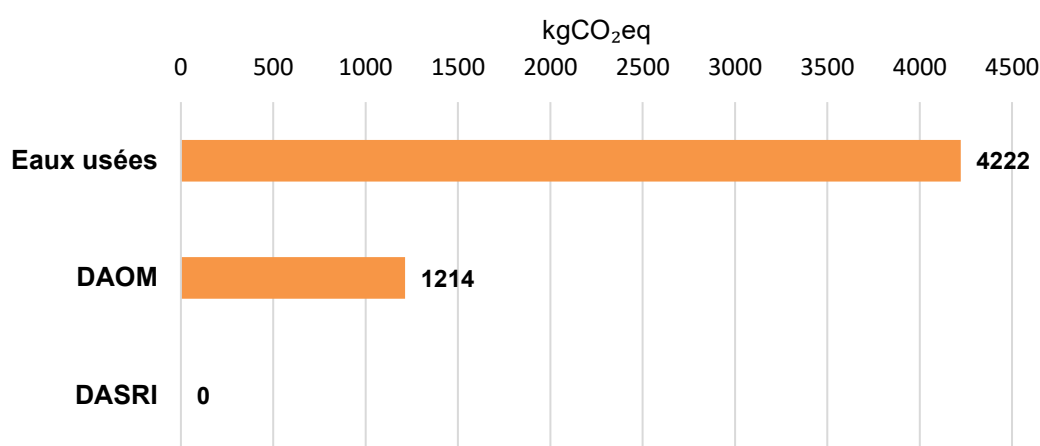


Figure 28 : Emissions globales de gaz à effet de serre liées aux déchets

Le volume total des eaux usées généré annuellement a été estimé à partir des volumes d'entrée des différents fluides utilisés dans le processus de stérilisation. Ainsi, on dénombre :

- 16 116 m³ d'eau propre
- 3,6 m³ de détergents
- 0,4 m³ de produit de rinçage

L'impact environnemental de ces rejets a été quantifié à l'aide de facteurs d'émissions prenant en compte la consommation électrique des infrastructures de traitement (réseaux et stations d'épuration), les processus de dépollution, les émissions de méthane (CH₄) et de protoxyde d'azote (N₂O) dans le milieu naturel, les

émissions de N₂O liées à l'épandage des boues ainsi que le traitement des réactifs chimiques utilisés. Les émissions associées à ces volumes sont estimées à 4 222 kgCO₂eq comme le décrit la Figure 29 ci-après.

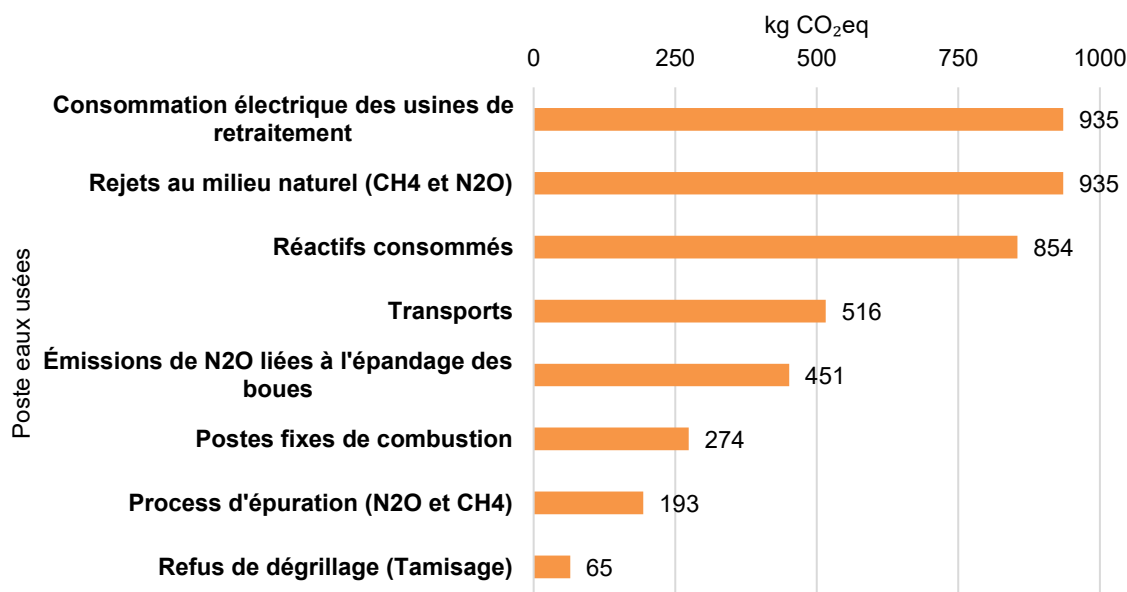


Figure 29 : Emissions détaillées de gaz à effet de serre liées aux eaux usées

Cette section se conclut par un récapitulatif des émissions totales des 9 types équipements étudiés. Ces émissions totales sont illustrées à partir de la Figure 30.

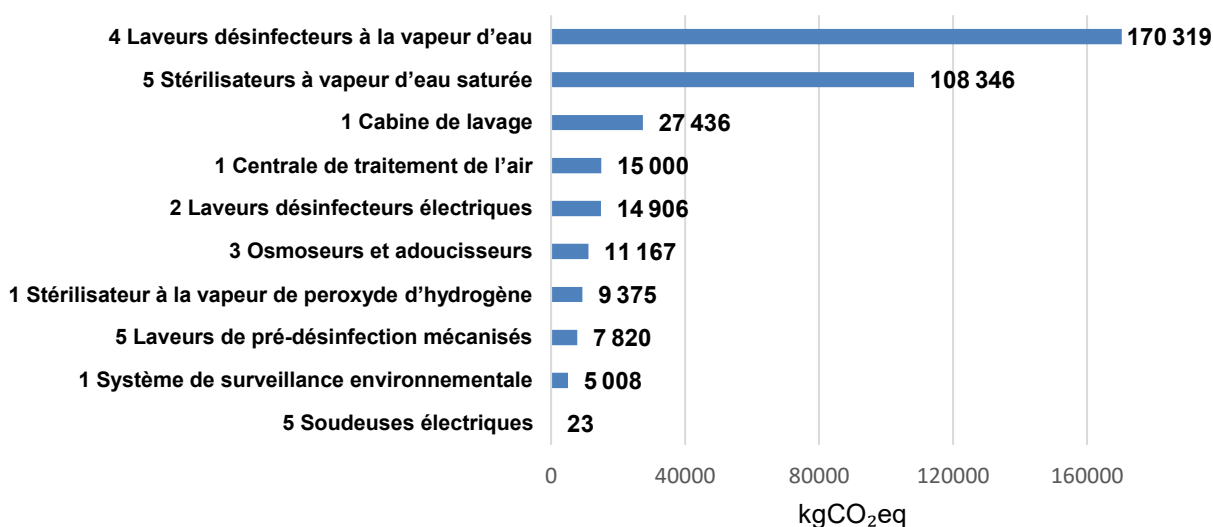


Figure 30 : Représentation des émissions totales par type d'équipement

2. Utilisation de l'eau

Sur la base d'une consommation annuelle d'eau bleue** estimée à 16 116 m³ par un compteur d'eau et d'un facteur AWARE® régionalisé de 4,09 m³ équivalent manquant par m³ consommé, le potentiel de privation de l'eau (WDP) a été calculé à 65 914 m³ eq. manquant (stress hydrique).

Cela correspond à environ 26 piscines olympiques ou la consommation annuelle en eau de 1 180 français selon l'ADEME ⁽²⁷⁾. En tenant compte du stress hydrique local, l'unité de stérilisation prive potentiellement l'environnement et d'autres usagers.

Afin de pouvoir comparer les consommations, la Figure 31 ci-après représente les consommations minimales théoriques pour chaque équipement.

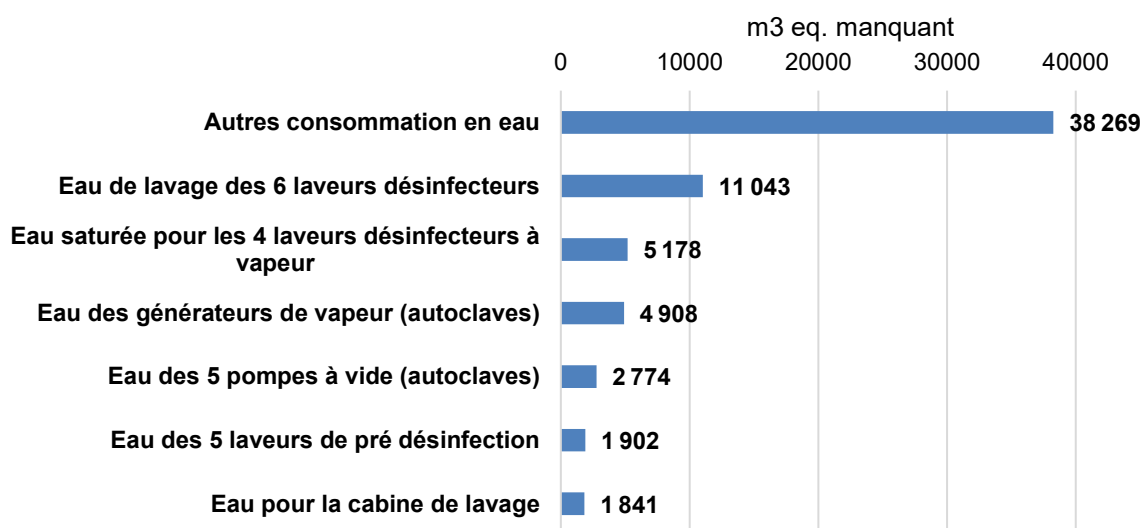


Figure 31 : Potentiel de privation en eau théorique minimal des équipements

Les équipements présentant la plus grosse consommation en eau sont :

- Les laveurs désinfecteurs qui ont été, à minima, source d'un potentiel de privation d'environ 16 221 m³ eq. manquant
- Les autoclaves sources d'un potentiel de privation 7 681 m³ eq. manquant

*** eaux de surface ou souterraines prélevées dans le milieu naturel pour un usage industriel ou domestique*

3. Utilisation des ressources fossiles

En 2022, la consommation annuelle des ressources énergétiques de l'unité s'est élevée à :

- 1 133 158 kWh PCS de gaz naturel. Parmi cette consommation, plus de 60% est lié à la production de vapeur pour les laveurs désinfecteurs.
- 1 668 848 kWh lié à l'électricité.

Conformément aux facteurs de conversion standards, ces valeurs ont été converties en énergie primaire (1 kWh = 3,6 MJ). Ainsi, il en résulte une consommation énergétique de **4 079 369 MJ pour le gaz naturel** et de **6 007 853 MJ pour l'électricité**. En tenant compte d'une part fossile de 7% de l'énergie pour l'électricité, l'énergie fossile associée est de 420 550 MJ.

L'ADP fossile total s'élève ainsi à **4 499 919 MJ** dont 4 079 369 MJ imputables au gaz naturel et 420 550 MJ imputables à l'électricité. La Figure 32 représente l'impact fossile de chacune des énergies.

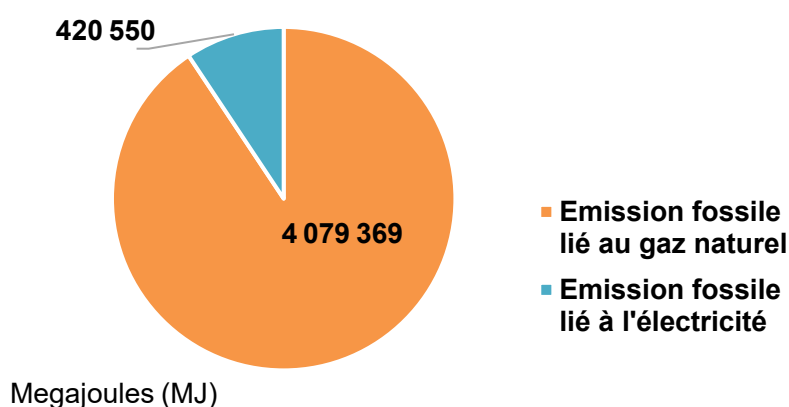


Figure 32 : Utilisation des énergies fossiles de l'unité de stérilisation

Ces résultats mettent en évidence une prédominance de l'impact fossile lié au gaz naturel représentant près de 90 % de l'ADP fossile total de l'unité.

4. Emissions chimiques

L'inventaire des produits chimiques a permis d'identifier un total de 15 produits actifs rejetés. Le Tableau 11 ci-dessous reprend l'ensemble des produits mis en évidence lors du recueil. Les données des FDS entrées dans la base SEIRICH® ont permis d'identifier le niveau de priorité d'action et le niveau de risque des produits pour la santé humaine et pour l'environnement selon une cotation à 4 paramètres : risque faible, risque modéré, risque élevé et risque très élevé.

Tableau 11 : Inventaire et niveaux de risques des produits chimiques de l'unité de stérilisation selon l'outil SEIRICH® (47) en 2024

Nom commercial	Produit	Fabricant	Quantité utilisée (Litres)	Niveau d'exposition des agents	Niveau de risque pour la santé humaine (SEIRICH®)	Niveau de risque pour l'environnement (SEIRICH®)
NEODISHER MEDICLEAN FORTE ®	Détergent pour LD	DR.WEIGERT	4590	Limité	Très élevé	Modéré
NEODISHER MEDIKLAR SPECIAL ®	Produit de rinçage pour LD	DR.WEIGERT	180	Limité	Modéré	Modéré
NEODISHER SEPTOCLEAN ®	Détergent pronicide pour PDM utilisé au bloc opératoire	DR.WEIGERT	1110	Limité	Très élevé	Modéré
NEODISHER Z ®	Agent neutralisant pour PDM	DR.WEIGERT	70	Limité	Elevé	Elevé
STERILIT I ®	Lubrifiant chirurgical	AESULAP	3 ,9	Fréquent	Modéré	Modéré
STERILIT POWER SYSTEMS ®	Lubrifiant chirurgical	AESULAP	22,8	Fréquent	Modéré	Elevé
VPRO - AGENT STERILISANT VAPROX ®	Peroxyde d'hydrogène	STERIS	20,7	Limité	Elevé	Modéré
ALMINOX ®	Produit de nettoyage des cuves de LD	SID	19	Limité	Elevé	Modéré
DETERG'ANIOS ®	Détergent neutre Sol et Surfaces	ANIOS	1,9	Fréquent	Elevé	Modéré
SURFA'NIOS PREM ®	Détergent et désinfectant Sol et Surfaces	ANIOS	1,52	Fréquent	Elevé	Très élevé
ANIOSYME X3 ®	Détergent de haute performance utilisé pour la pré-désinfection au bloc opératoire	ANIOS	1160	Fréquent	Très élevé	Très élevé
SURFA'SAFE ®	Détergent pour surfaces	ANIOS	78,8	Fréquent	Faible	Faible
EAU DE JAVEL 2,6%	Désinfectant chloré pour siphons	COLDIS	86	Limité	Modéré	Très élevé
GEL HYDROALCOOLIQUE	Gel désinfectant pour main	EXEOL	58	Quotidien	Modéré	Modéré
ANIOSAFE ®	Savon doux	ANIOS	129	Quotidien	Faible	Faible

Note : Limité = fréquence d'une fois par mois

Fréquent = fréquence d'une fois par semaine

Quotidien = fréquence d'une fois par jour

LD = Laveur désinfecteur

PDM = Pré-désinfecteur mécanisé

Après analyse, le logiciel SEIRICH® a mis en évidence trois composés très toxiques pour la **santé** humaine :

- NEODISHER SEPTOCLEAN®
- NEODISCHER MEDICLEAN FORTE®
- ANIOSYME X3®

En ce qui concerne les risques pour **l'environnement**, 3 produits présentent une toxicité hautement élevée :

- SURFA'NIOS PREM®
- ANIOSYME X3®
- Eau de Javel 2,6%

Les substances identifiées présentent diverses voies d'émission dans les milieux naturels. Les voies de rejet liquides sont les plus fréquentes notamment par le biais des laveurs-désinfecteurs et laveurs de pré désinfection tandis que certaines substances volatiles peuvent être émises par voie aérienne lors de manipulations à l'air libre comme les lubrifiants chirurgicaux. La dernière voie d'émission notable concerne les déchets contaminés éliminés via les DAOM. Les voies d'exposition humaine sont principalement cutanées et oculaires. En effet, l'aérosolisation des liquides (ANIOSYME X3®, Eau de Javel 2,6%) ou des liquides sous pression (lubrifiants chirurgicaux) sont responsables d'atteinte oculaires ou des voies respiratoires.

4.1. Risques pour la santé humaine

Parmi les produits analysés, 9 présentent des propriétés dangereuses pour la santé humaine telles que l'irritation cutanée ou oculaire (H315 et H319) dont 4 présentant les mentions de brûlures graves cutanées ou oculaires (H314 et H318). Le Tableau 12 présente les produits concernés.

Tableau 12 : Produits chimiques à risque pour la santé humaine

Nom commercial	Mentions H santé	CMR	Fréquence d'exposition
NEODISHER MEDIKLAR SPECIAL®	H319	Non	Limité
NEODISHER SEPTOCLEAN®	H314	Non	Limité
NEODISHER Z®	H319	Non	Limité
ALMINOX®	H315	Non	Fréquent
DETERG'ANIOS®	H318	Non	Fréquent
SURFANIOS PREM®	H315, H318	Non	Fréquent
ANIOSYME X3®	H314, H318	Non	Fréquent
EAU DE JAVEL 2,6%	H315, H319	Non	Fréquent
Solution hydroalcoolique	H319	Non	Quotidien

Note : Limité = fréquence d'une fois par mois

Fréquent = fréquence d'une fois par semaine

Quotidien = fréquence d'une fois par jour

Aucun produit n'a été identifié comme contenant des substances classées CMR (cancérogènes, mutagènes ou reprotoxiques) même dans les substances présentes à des concentrations inférieures aux seuils de classement du mélange.

Le peroxyde d'hydrogène présent dans le VAPROX® mentionne des notions de reprotoxicité avérée chez l'animal. Certaines données expérimentales in vitro suggèrent un potentiel génotoxique ne justifiant pas une classification CMR ⁽⁵²⁾. De plus, le peroxyde d'hydrogène est classé catégorie 2 dans la base de données ECHA. Il est donc suspecté d'être un composant cancérigène dans certaines conditions d'exposition chronique. Cependant, pour des concentrations inférieures à 8%, il n'est pas considéré comme un produit cancérigène.

Les produits détergents pour laveurs désinfecteurs et postes de pré-désinfection ont été classifiés à risque élevé en raison des quantités totales utilisés par an. Toutefois, cette classification ne traduit pas un niveau d'alerte préoccupant puisque les agents de production ne sont que très rarement exposés à ces substances et protégés par les EPI. Enfin, les produits détergents doivent être surveillés en raison de leur toxicité oculaire et de leur exposition occasionnelle.

4.2. Risque pour l'environnement

L'analyse des données éco-toxicologiques a mis en évidence la présence de substances potentiellement toxiques pour les organismes aquatiques. Parmi les substances recensées, 5 ont été classées par la codification CLP (Classification,

Labelling and Packaging) comme toxiques pour le milieu aquatique (H410 ou H412) entraînant ou non des effets néfastes à long terme et sont présentés dans le Tableau 13.

L'évaluation éco-toxicologique de l'environnement aquatique met en évidence des différences marquées entre les substances actives.

- Les **diamines aliphatiques** et **ammonium quaternaires** présents dans le SURFANIOS PREM® présentent une toxicité élevée avec des CE₅₀ Daphnie comprises entre 0,006 et 0,073 mg/L et des CE₅₀ algues inférieures à 0,07 mg/L.
- Les **tensioactifs cationiques** (contenant des ammoniums quaternaires modifiés), **éthylène glycol** ainsi que les **biguanides** présents dans l'ANIOSYME X3® en font également un composé hautement toxique avec des CE₅₀ algues inférieures à 0,06 mg/L, CE₅ daphnie de 0,06 mg/L et CL₅ poisson comprises entre 0,148 et 0,52 mg/L.
- Le NEODISHER Z® contenant l'**Octhilinone** montre également une toxicité importante sur les algues (CE₅₀ = 0,084 mg/L) bien que sa CL₅₀ poisson soit nettement plus élevée (440 à 706 mg/L) suggérant une sélectivité d'effet.
- A l'inverse, l'**hypochlorite de sodium** présent dans le désinfectant chloré présente une toxicité modérée à forte pour l'ensemble des espèces. Cette substance inorganique risque de réagir face aux substances organiques de l'environnement via son pouvoir oxydant. En revanche, elle ne possède pas de pouvoir bioaccumulant puisqu'elle se dégradera rapidement au contact de chlorure.
- A l'inverse, l'**huile minérale blanche** présente dans le lubrifiant chirurgical semble globalement peu toxique par manque de données mais reste préoccupante du fait de sa faible biodégradabilité. En effet, elle présente un facteur de biodégradabilité OCDE 301 (Manometric Respirometry Test) de 31,3% en 28 jours, lié à ses propriétés persistantes dans l'environnement.

La majorité des substances sont biodégradables ou facilement biodégradables et présentent un faible potentiel de bioaccumulation ($\log K_{ow} < 2,9$) à l'exception des tensioactifs cationiques présents à hauteur de 10 à 20% dans l'ANIOSYME X3® étant faiblement biodégradables. De plus, les données sont absentes pour certains composés, notamment en ce qui concerne la bioaccumulation dans l'environnement.

Globalement, si on croise la consommation annuelle à la toxicité, les produits chimiques identifiés les plus à risques sont les détergents désinfectants (SURFANIOS® et ANIOSYME X3®) qui présentent les taux de toxicité les plus élevés et qui conjuguent une toxicité aquatique et humaine. Ensuite, les désinfectants chlorés qui malgré leur biodégradabilité apparente, sont également très toxiques.

Enfin, deux produits qui ne présentent qu'une toxicité pour les milieux aquatiques : le NEODISHER Z® qui présente une toxicité ciblée sur les algues et le lubrifiant chirurgical qui présente un risque de bioaccumulation dans l'environnement.

Tableau 13 : Eco-toxicologie aquatique des produits chimiques à risque pour l'environnement

Nom commercial	Mention environnementale	Composant toxique	CL ₅₀ Poisson		CE ₅₀ Daphnie		CE ₅₀ Algues		Biodégradabilité	Bioaccumulation (logKow)	
			Valeur (mg/L)	Durée d'exposition (heure)	Valeur (mg/L)	Durée d'exposition (heure)	Valeur (mg/L)	Durée d'exposition (heure)		Valeur	Interprétation
NEODISHER Z®	H412	Octhilinone (2-octyl-2H- isothiazol-3-one)	440 à 706	96	120	72	0,084	72	Rapidement biodégradable	2,9	Faible potentiel de bioaccumulation
STERILIT POWER SYSTEMS® (Lubrifiant chirurgical)	H412	Hydrocarbure (Huile minérale blanche)							La substance n'est pas facilement biodégradable		
SURFANIOS PREM®	H410	Diamine Aliphatique (N- (3-Aminopropyl)-N- dodecylpropane-1,3- diamine)	0,68	96	0,073	48	0,014	72	Facilement biodégradable		
		Ammonium quaternaire (Chlorure de didécyldiméthylammonium)	>1	96	0,029	48	0,062	72	Biodégradable	2,8	Faible potentiel de bioaccumulation
ANIOSYME X3®	H410	Tensioactif cationique (sel de bétaine) contenant un ammonium quaternaire	0,52	96	0,07	48	0,15	72	Faiblement biodégradable		
		Ethylène glycol	0,148	96	72,86	48	0,0652	72	Facilement biodégradable		
		Acide D-gluconique + Biguanide (sel)			0,06	48			Facilement biodégradable		
Désinfectant chloré dilué	H410	Hypochlorite de sodium	0,06	96	0,141	48	0,04	72	Biodégradable		Pas de potentiel de bioaccumulation

5. Impacts sociétaux

L'audit de qualité de vie et des conditions de travail a été réalisé sur 40 agents. Parmi eux, 20 ont complété le test de satisfaction. Cet échantillon se compose de trois agents d'encadrement, un agent administratif et seize agents de production (80%). Les réponses ont été recueillies via 2 supports : 4 via un formulaire en ligne et 16 sur grille papier. Les résultats obtenus sont présentés et analysés par catégories comme suit.

5.1. Egalité au travail

La proportion de personnel féminin au sein de l'unité est particulièrement élevée avec 37 agents sur 40, soit 92,5%. L'ancienneté moyenne des employés s'élève à 9 ans avec un intervalle allant de 1 à 27 ans et une médiane de 7 ans. Cela constitue un atout pour la transmission des compétences. La Figure 33 illustre la répartition des effectifs par tranche d'âge.

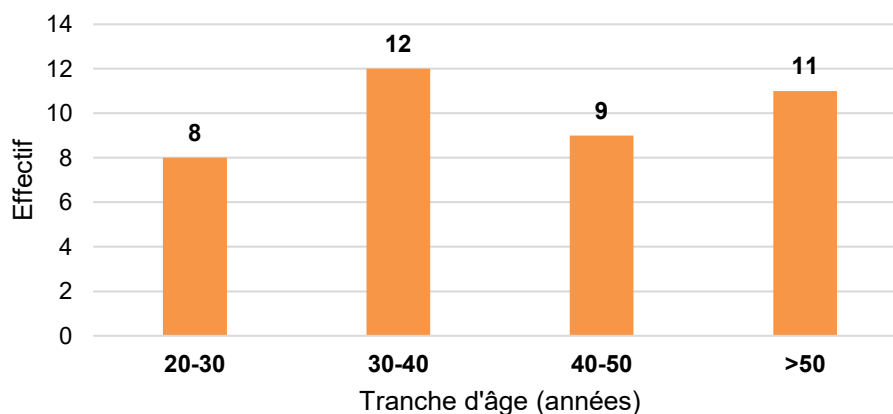


Figure 33 : Répartition de l'effectif par tranche d'âge

La répartition par tranches d'âge montre une diversité générationnelle équilibrée avec une proportion équitable de jeunes salariés et de salariés expérimentés mais constitue un enjeu en matière d'adaptation des conditions de travail.

5.2. Santé au travail et prévention

L'ensemble des résultats de santé au travail liés au questionnaire ont été compilés sous forme de graphique dans la Figure 34.

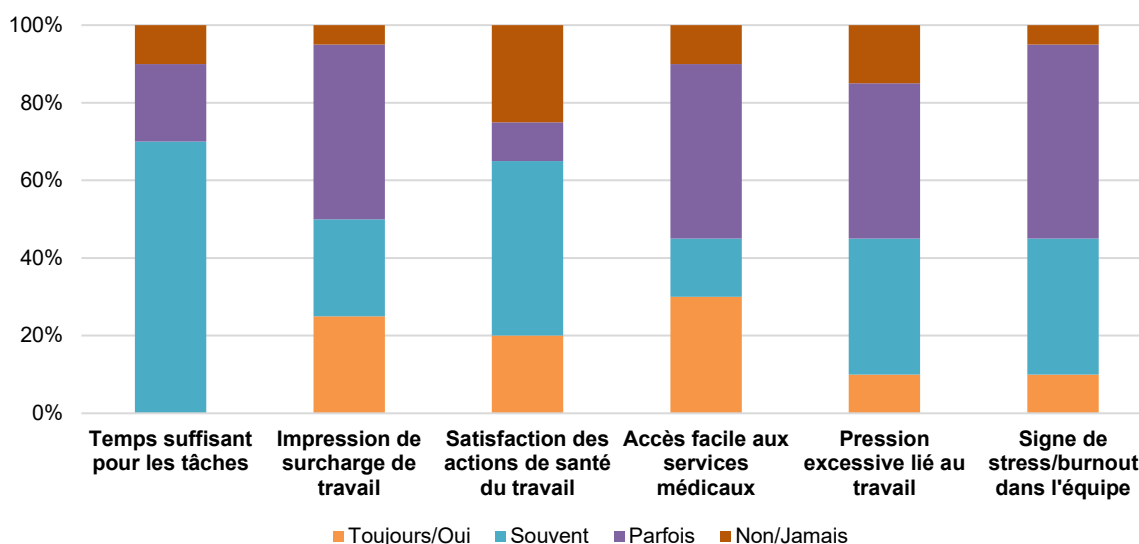


Figure 34 : Résultats du questionnaire de satisfaction en matière de santé au travail

Les résultats de l'audit révèlent que la charge de travail est perçue comme moyenne. En effet, aucun agent ne déclare avoir « Toujours » suffisamment de temps pour accomplir ses tâches et 30% expriment ne « Jamais » l'avoir ou « Parfois » l'avoir. Cependant 70% expriment avoir « souvent » le temps de réaliser leurs tâches. Concernant l'impression de surcharge de travail, 25% des employés se sentent « toujours » en surcharge, 25% « souvent » et 45% « parfois ».

La satisfaction vis-à-vis de la santé du travail et l'accès aux services médicaux est globalement positive puisque 65% répondent « Toujours » ou « Souvent » satisfait avec un accès facile aux services pour 45% des répondants. Cependant, 25% expriment un avis mitigé ou négatif.

En matière de stress lié au travail, 45% déclarent ressentir une pression excessive « Souvent » ou « Toujours » et 50% observent des signes de stress ou de burn-out chez leurs collègues.

Ces signes soulignent un risque psychosocial (plus de 30% des agents étant impactés) et mettent en évidence la nécessité de mettre en place des actions de prévention du stress ainsi que de mieux communiquer sur les services de santé disponibles.

En ce qui concerne l'inventaire des équipements présenté dans le Tableau 14 a permis de discerner des équipements améliorant le confort de travail en le sécurisant ou en apportant du confort aux agents.

Tableau 14 : Inventaire des équipements améliorant la santé au travail

Domaine	Équipements	Objectif
Automatisation	Automatisation du chargement/déchargement des autoclaves	Sécurité et réduction de la pénibilité
	Cabine de lavage à niveau	
Ergonomie au poste	Tables / plans de travail à hauteur variable	Réduction des TMS, meilleure visibilité, confort thermique
	Paillasse avec éclairage adapté	
	Amélioration de l'éclairage général	
	Gestion de la température des locaux	
Protection individuelle	Tenues adaptées et limitant les émissions de particules	Sécurité et confort auditif
	Protection auditive individualisée (protège-oreilles)	
Procédés de nettoyage	Passage du trempage à des laveurs de pré-désinfection mécanisés	Simplification des tâches
Organisation / QCVT	Charte de bon comportement	Amélioration de la communication, cohésion et dynamique d'équipe
	Logo / blason pour renforcer la cohésion d'équipe	
	Stand-up meeting pour communication et suivi qualité de vie au travail	
Maintenance / Entretien	Entretien régulier des zones de travail et de lavage	Maintien de la propreté et sécurité globale

5.3. Organisation, contenu et réalisation du travail

En ce qui concerne l'organisation, le contenu et la réalisation du travail dans l'unité, la Figure 35 ci-après exprime le ressenti général des employés.

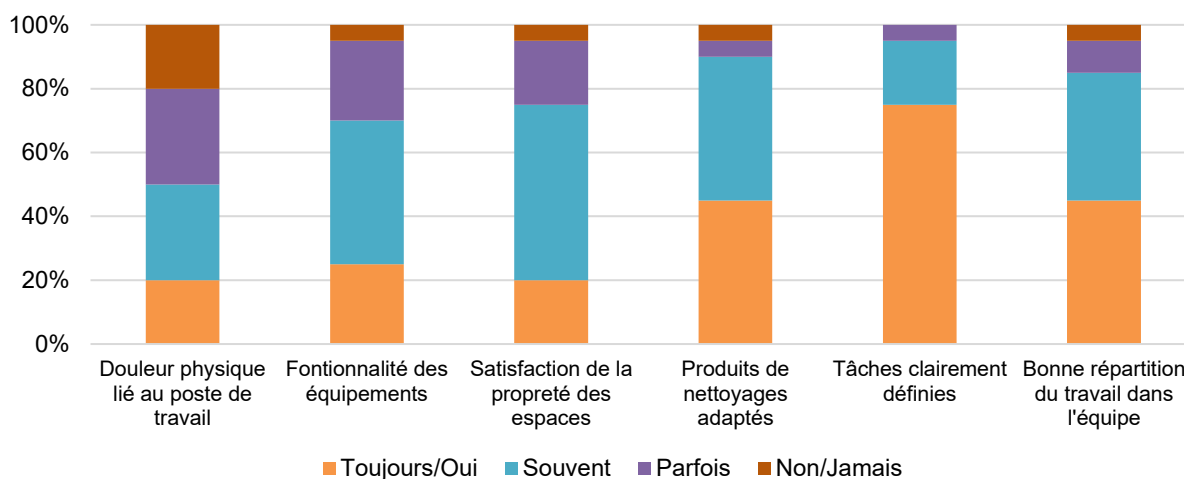


Figure 35 : Résultats du questionnaire de satisfaction en matière de réalisation du travail

L'évaluation de l'environnement de travail révèle que 50% des agents ressentent des douleurs physiques liées au poste « Toujours » ou « Souvent », 30% « Parfois » et 20% « Jamais ». La moitié des agents expriment un besoin d'amélioration ergonomique. La fonctionnalité des équipements est jugée satisfaisante par 70% (« Toujours » et « Souvent ») et 5% la juge insuffisante.

Concernant la propreté, 75% se déclarent satisfaits mais 20% l'évaluent seulement à « Parfois ». Les produits de nettoyage sont quant à eux très bien perçus avec 90% d'avis favorables, considérant qu'ils sont adaptés et facilement accessibles.

Sur le plan organisationnel, la clarté des tâches est un point fort, 95% des réponses sont « Toujours » ou « Souvent » et la répartition du travail est jugée bonne par 85% des agents. Globalement, l'hygiène et la clarté des missions sont très satisfaisantes tandis qu'une moitié des agents expriment qu'une optimisation ergonomique des équipements permettrait de limiter les douleurs physiques liées à l'activité.

5.4. Compétence et parcours professionnel

Le parcours professionnel, la formation ainsi que les perspectives d'évolution sont un des points clés de la qualité de vie au travail. La Figure 36 résume les réponses apportées par les agents de l'unité de stérilisation.

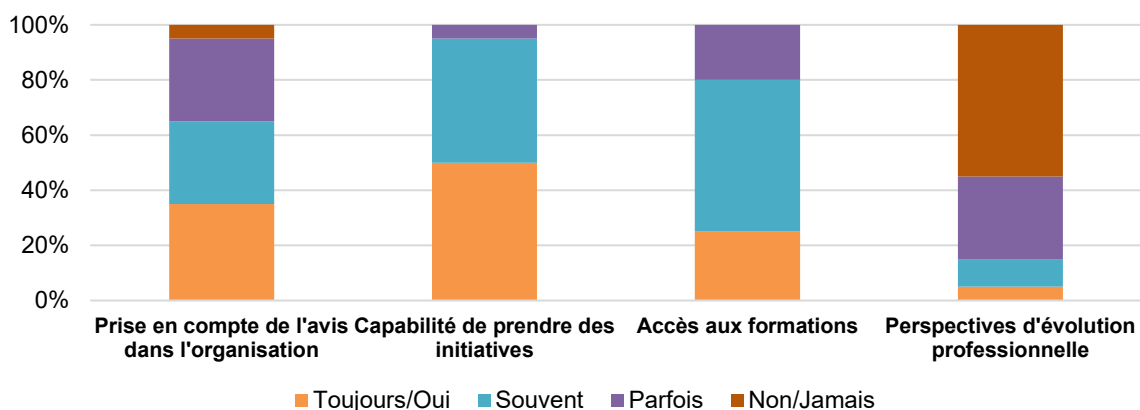


Figure 36 : Résultat du questionnaire de satisfaction en matière de parcours professionnel

Les agents estiment que leur avis dans l'organisation est « Toujours » ou « Souvent » pris en compte à hauteur de 65%. Seulement 30% estiment qu'il est « Parfois » pris en compte et 5% « Jamais ». La capacité à prendre des initiatives apparaît également comme un point fort, 95% des répondants indiquant « Toujours » et « Souvent » cette possibilité.

L'accès à la formation est aussi un point positif puisque 80% des réponses sont favorables. Les agents estiment y avoir facilement accès. En effet, sur l'année 2024, les agents ont en moyenne réalisé 2,6 formations. Certains agents ont réalisé jusqu'à 6 formations et d'autres n'en ont pas réalisés, la médiane étant à 2 formations.

En revanche, les perspectives d'évolution professionnelles au sein de l'unité représentent un axe d'amélioration : seules 15% des agents considèrent qu'elles ont « Toujours » ou « Souvent » des opportunités tandis que 30% répondent « Parfois » et 55% « Jamais ».

5.5. Dialogue social et professionnel

L'encadrement des nouveaux arrivants permet de créer un dialogue social et professionnel. Dans l'unité de stérilisation, l'ensemble des agents bénéficient d'un compagnonnage lors de leur arrivée sous la forme d'un tutorat. Ce tutorat est suivi d'une habilitation. Sur l'année 2024, 7 agents en ont bénéficié ce qui représente 100% des nouveaux agents.

En parallèle, des réunions de service ont lieu tous les lundis permettant aux agents d'exprimer leurs avancées et difficultés en termes d'organisation et points d'attention sur la semaine faisant l'objet d'un compte rendu pour les absents. De plus, des « stand-up meeting » tous les mercredis permettent à l'équipe en autonomie d'échanger et de résoudre les irritants du service sans intervention de la hiérarchie.

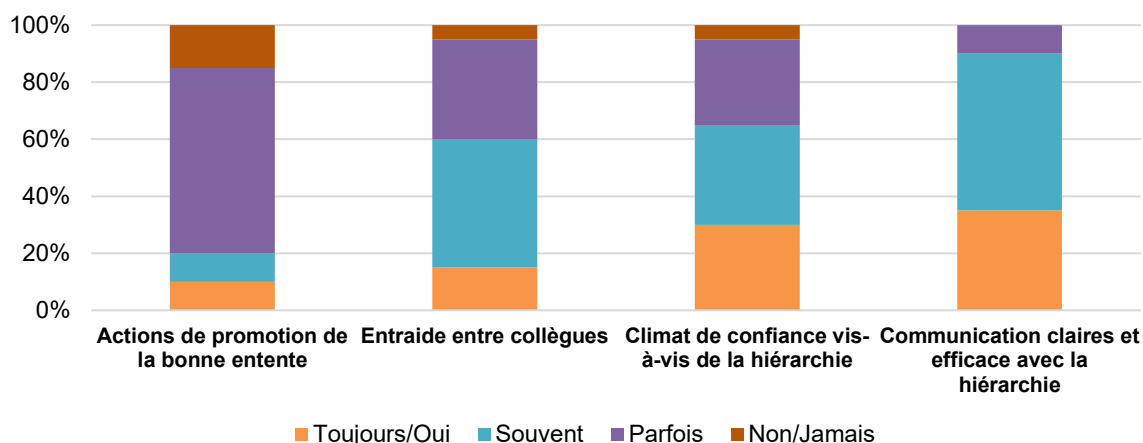


Figure 37 : Résultats du questionnaire de satisfaction en matière de dialogue social et professionnel

Les résultats concernant la satisfaction des relations interprofessionnelles (Figure 37) montrent que les actions de promotion de la bonne entente sont jugées limitées avec seulement 20% répondant « Toujours » ou « Souvent » contre 65% « Parfois » et 15% « Jamais ». En revanche, l'entraide entre collègues est globalement bonne avec 60% des réponses favorables. Concernant la hiérarchie, le climat de confiance est jugé positif par 65% des employés. Trente pour cent le considèrent partiel et 5% absent. La communication avec la hiérarchie est quant à elle beaucoup plus positive puisque 90% des agents affirment qu'elle est « Toujours » ou « Souvent » claire et efficace.

5.6. Projet d'entreprise et management

La perception des agents aux projets d'entreprise et leur implication dans les décisions managériales peuvent être estimés au regard de leur large participation aux réunions interservices lorsqu'ils sont présents (100%).

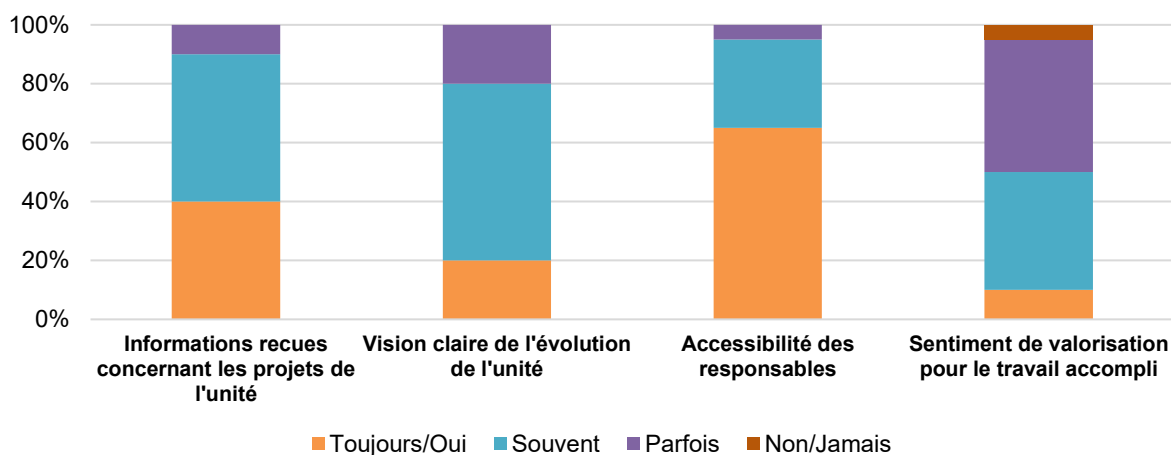


Figure 38 : Résultats du questionnaire de satisfaction en matière de projets

L'analyse de la clarté des objectifs de l'unité de stérilisation révèle que 90% des employés estiment recevoir « Toujours » ou « Souvent » des informations sur les projets et 80% déclarent avoir une vision claire de l'évolution de l'unité. Cela montre une communication interne efficace.

En ce qui concerne le soutien managérial, 95% des répondants jugent les responsables accessibles. Cependant, le sentiment de valorisation du travail accompli reste perfectible avec seulement 50% des employés se sentant « Toujours » ou « Souvent » valorisés contre 45% « Parfois » et 5% « Jamais ».

Ces résultats confirment une bonne communication managériale en termes d'accessibilité et de circulation des informations mais nécessite de renforcer les actions de reconnaissance.

6. Impacts économiques d'une unité de stérilisation

L'analyse comparative des deux modèles de coûts a été réalisé à partir de 7 compositions de plateaux et dispositifs médicaux. Le coût d'un « S » a été évalué à **0,2361 euros** tandis que celui d'une **UO Sté** est de **0,3465 euros** pour 7 289 060 UO Sté sur l'année 2024.

Les résultats pour chaque composition sont présentés dans le Tableau 15 ci-après.

Tableau 15 : Comparaison des coûts par composition selon le modèle « S » du CH de Valenciennes à l'instrument et le modèle « UO Sté » de l'ANAP/SF2S ⁽³⁸⁾

	NOMBRE D'INSTRUMENTS	VALEUR EN "S" CHV	VALEUR ECONOMIQUE (EUROS)	NOMBRE D'UO STE (ANAP/SF2S)	VALEUR ECONOMIQUE (EUROS)
BOITE DE LAPAROTOMIE VISCERALE	54	225	53	110	38
BOITE DE LAPAROTOMIE GYNECOLOGIQUE	87	303	72	160	55
PLATEAU POUR CHIRURGIE DU TENDON	28	117	28	110	38
DM EN PRET	1	30	7	160	55
BOITE DE CESARIENNE	38	156	37	110	38
PLATEAU SUTURE	12	49	12	30	10
INSTRUMENT INDIVIDUEL	1	13	3	15	5

Les 2 modèles affichent des écarts. Le modèle S est plus couteux pour les grandes compositions alors qu'il est moins cher pour les instruments individuels. Dans le cas des instruments en prêt, le modèle UO Sté affiche un coût élevé (55 euros) alors que le modèle S reflète mieux une faible instrumentation (7 euros). Si on sélectionne uniquement les compositions présentant 11 à 60 dispositifs médicaux (boite de laparotomie viscérale, boite de césarienne et plateau de chirurgie de genou), le prix de l'UO Sté reste le même (38 euros). En revanche, le coût du S varie proportionnellement au nombre d'instruments. La Figure 39 illustre ces différences.

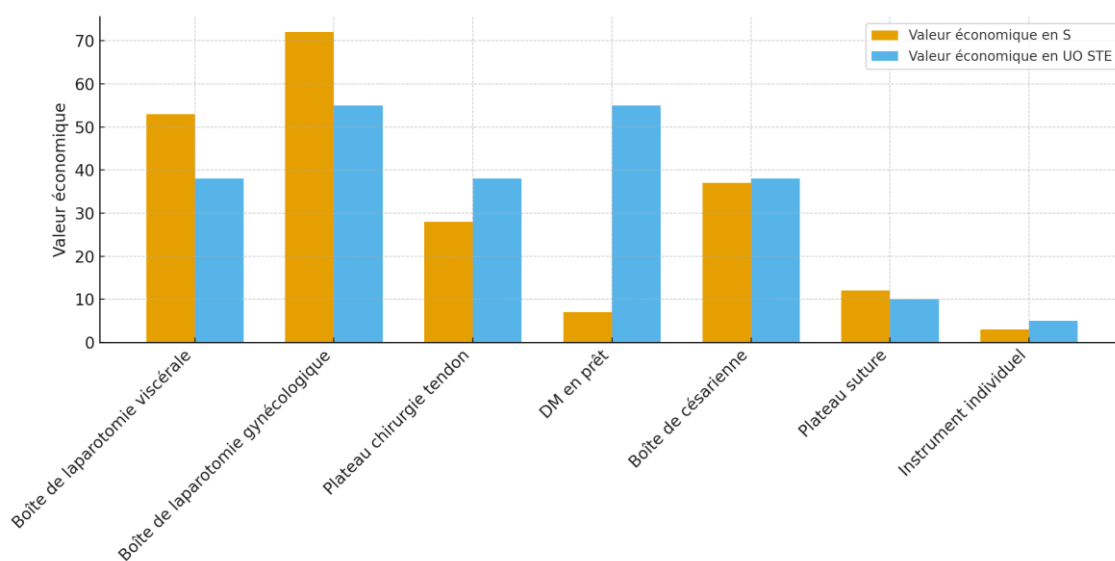


Figure 39 : Comparaison des coûts par composition selon le modèle « S » (à l'instrument) et le modèle « UO Sté » (ANAP/SF2S) ⁽³⁸⁾

II. Revue des systèmes émergents

1. Laveurs désinfecteurs

Quatre fournisseurs de laveurs désinfecteurs ont répondu à notre questionnaire. Il s'agit des LD (Laveurs désinfecteurs) Steelco (DS1000®, TW3000/2®), Getinge (8668 Turbo®), Belimed (WD200®) et Matachana (MAT LD1000®). Ils intègrent tous des innovations visant à réduire le volume d'eau utilisé par cycle et des systèmes de récupération de l'énergie thermique des laveurs désinfecteurs. Le Tableau 16 ci-dessous liste l'ensemble des technologies et systèmes émergents identifiés à partir des données fournisseur.

Tableau 16 : Liste des technologies et systèmes écologiques émergents de laveurs désinfecteurs

Catégorie	Technologie / Approche	Fabricants / Nom de la technologie
Optimisation de la consommation d'eau	Recyclage/Stockage interne de l'eau d'un cycle à l'autre (eau de désinfection thermique d'un cycle pour l'eau de lavage du cycle suivant)	Steelco, Matachana, Belimed
	Systèmes intelligents de régulation du volume d'eau (pompes de circulation à fréquence variable, optimisation de remplissage d'eau selon la charge)	Smart Fill® (Belimed), ECOKIT® (Matachana) Getinge,
	Réduction des volumes de cuves et circuits hydrauliques compacts	Steelco, Matachana
Optimisation de la consommation électrique	Récupération de chaleur sur l'air de séchage	Getinge, Belimed, Matachana, Steelco
	Réservoirs de préchauffage de l'eau	Steelco
	Capteurs d'humidité pour arrêt automatique du séchage	Getinge
	Séchage cyclonique / chambre de séchage dédiée	Steelco, Matachana
	Turbines à vitesse variable / régulation progressive	Getinge, Belimed

La revue des technologies émergentes intégrées dans les laveurs désinfecteurs met en évidence plusieurs solutions complémentaires pour réduire les consommations en eau :

- Le recyclage ou le stockage interne de l'eau consiste à réutiliser l'eau de la phase de désinfection thermique pour le lavage du cycle suivant.
- Les systèmes intelligents permettent également de réduire le volume d'eau en modulant le débit des pompes de circulation ou en optimisant automatiquement

le remplissage en eau en fonction de la charge. En effet, un rack contenant des instruments creux nécessitera des consommations en eau plus importantes d'irrigation.

- Parallèlement, plusieurs fournisseurs intègrent des réductions du volume des cuves ou optimisent et réduisent la longueur et les diamètres des circuits d'eau. Ce système favorise une réduction de la consommation en eau et des pertes calorifiques énergétiques.

En outre, suite à l'instruction interministérielle du 1^{er} juillet 2024 ⁽⁵⁴⁾ relative à la mise en œuvre des mesures du plan d'action pour une gestion résiliente et concertée de l'eau, la réutilisation des eaux de stérilisation sans procédure administrative pour de nombreux usages a été autorisée à l'exception du lavage du linge et de l'alimentaire.

Les systèmes émergents permettent également d'optimiser les dépenses **électriques**.

- La récupération de chaleur de l'air de séchage sortante grâce à un échangeur thermique permet de préchauffer l'eau osmosée. Cela permet d'abaisser la consommation des résistances de chauffage.
- Des réservoirs de préchauffage indépendant de l'eau permettent de réduire les appels de puissance en chauffant l'eau en amont du cycle.
- Des dispositifs de pilotage précis complètent ces approches comme les capteurs d'humidité qui arrêtent automatiquement le séchage une fois le taux cible atteint.
- Il en est de même pour le séchage cyclonique et les chambres dédiées qui accélèrent le processus de séchage en limitant les dépenses énergétiques.
- L'usage des turbines à vitesse variable optimise la ventilation, réduisant la consommation électrique.

2. Stérilisateur à la vapeur d'eau saturée

Quatre fournisseurs ont répondu directement à notre questionnaire. Il s'agit des fournisseurs Getinge, Matachana, Schlumberger et Steris.

Le Tableau 17 présente les équipements émergents décrits.

Tableau 17 : Liste des technologies et systèmes écologiques émergents de stérilisateurs à vapeur d'eau saturé

Catégorie	Technologie / Approche	Fabricant / Nom de la technologie
Optimisation de la consommation électrique	Générateur de vapeur intelligent	Getinge, MMM
	Optimisation du prétraitement des pompes à vide (anneau liquide)	Getinge
Optimisation de la consommation en eau	Pompes à vide sèches	Getinge, Steris, MMM, Steelco, Schlumberger
	Raccordement à une boucle d'eau glacée (refroidissement)	Getinge
	Système de récupération des eaux par condensation	STERIGREEN® (Steris), Matachana, MMM, Steelco
Organisation / Exploitation	Rotation hebdomadaire des autoclaves pour limiter la veille	Approche interne
	Mise en veille et réveil programmables	Getinge
	Arrêt/redémarrage automatiques	Steris, Schlumberger

La consommation **électrique** est actuellement optimisable. Différents processus permettent de diminuer celle-ci :

- Tout d'abord les **générateurs de vapeur intelligents**. Ils sont régulés et adaptent en temps réel la pression en activant uniquement les résistances nécessaires pour produire de la vapeur. Cela évite la surproduction et réduit la consommation électrique.
- De la même manière, il existe des **pompes à vide à anneau liquide**. Ce système utilise un anneau liquide pour assurer l'étanchéité et la compression des gaz. Il permet de limiter les frottements mécaniques et de jouer un rôle de refroidissement. La pompe à vide tolère les gaz humides sans nécessité de pré-traitement énergivore. Cependant, ce système nécessite une quantité d'eau plus importante qu'une pompe à vide sèche.

En ce qui concerne la consommation en **eau**, plusieurs systèmes sur le marché permettent son optimisation :

- La première concerne les **pompes à vide sèche** qui remplacent les pompes à eau traditionnelle. Celles-ci consomment plusieurs centaines de litres par cycle pour créer le vide. Les pompes sèches réalisent la même fonction en utilisant que très peu d'eau. Elles utilisent des rotors ou vis afin de comprimer les gaz dans la chambre de compression.
- Le refroidissement des effluents des autoclaves nécessite souvent beaucoup d'eau adoucie. En raccordant les stérilisateurs à une **boucle d'eau glacée**, on substitue ce refroidissement énergivore par un système centralisé. Cette

approche permet de diminuer la dépendance à l'eau adoucie et diminue la quantité d'eau utilisée. Cependant, ce système nécessite une consommation électrique plus importante liée au refroidissement de l'eau glacée.

- Un système de **récupération de l'eau** est également présent chez de nombreux fournisseurs. Il s'agit d'une récupération de l'eau des effluents (eaux de condensation + eaux de refroidissement) utilisée pour le refroidissement des futurs cycles.

Enfin, de nombreux systèmes d'**organisation** permettent de réaliser des économies électriques, notamment lié à la veille des appareils.

- En alternant les appareils en service chaque semaine, une étude ⁽³¹⁾ a montré que l'on peut baisser de 38% la consommation de veille.
- Certains autoclaves possèdent des programmations permettant d'entrer en veille lors des périodes d'inactivité et de se réactiver automatiquement avant l'utilisation.
- D'autres appareils peuvent être programmées pour s'arrêter et redémarrer automatiquement selon les besoins, évitant des consommations énergétiques et hydrauliques inutiles lors des périodes creuses.

3. Stérilisateurs au peroxyde d'hydrogène

Parmi les fournisseurs de stérilisateurs au peroxyde d'hydrogène, quatre ont répondu au questionnaire (Getinge, Matachana, ASP, Steris).

Tableau 18 : Liste des technologies et systèmes écologiques émergents de stérilisateurs au peroxyde d'hydrogène

Catégorie	Technologie / Approche	Fournisseur / Nom de la technologie
Optimisation énergétique	Mise en veille programmée / réveil programmé	Getinge
	Exigences électriques minimales	<i>Plug & Play</i> ® (Matachana), Steris, ASP
Optimisation des ressources	Annulation de cycle avant injection du peroxyde (auto-diagnostic charge)	Matachana
Gestion des consommables & durabilité	Péréemption du flacon 30 jours après perforation	Getinge
	Augmentation du nombre de cycle par flacon	Getinge
	Augmentation de l'autonomie	<i>BluKat</i> ® (Matachana)

Les stérilisateurs au peroxyde d'hydrogène intègrent aujourd'hui plusieurs approches :

- Sur le plan de l'optimisation énergétique, des fonctions telles que la mise en veille et le réveil programmé permettent de réduire la consommation électrique durant les périodes d'inactivité tandis que d'autres optimisations minimisent les exigences électriques de l'appareil.
- En matière d'optimisation des ressources, certains fournisseurs proposent un auto-diagnostic préalable qui annule automatiquement les cycles si les conditions de charge ne sont pas favorables, évitant ainsi le gaspillage de consommables et de temps.
- La gestion des consommables est également un point d'amélioration. Certains flacons ont leur péremption prolongée jusqu'à 30 jours après perforation et permettent d'augmenter le nombre de cycles réalisés par flacon, ce qui réduit le volume de déchets générés.

L'aspect social est également en pleine amélioration lié à la réglementation actuelle et dans une optique de diminution des risques pour les utilisateurs. Les cartouches ne sont jamais manipulables (circuits fermés, cartouches closes...). La réglementation est faite pour que les agents ne manipulent pas. En effet, elle oblige désormais le port d'EPI lors de la sortie des dispositifs qui peuvent encore contenir des résidus de peroxyde d'hydrogène.

4. Centrale de traitement de l'air

Les fournisseurs Ecoflow et DENCO-HAPPEL ont fourni des informations. Le Tableau 19 décrit les avancées pour réduire le cout énergétique de l'aspiration, du refroidissement et du chauffage.

Tableau 19 : Liste des technologies et systèmes écologiques émergents de centrale de traitement de l'air

Catégorie	Technologie / Approche	Fournisseur / Nom de la technologie
Optimisation énergétique	Mise en veille programmée / arrêt des CTA hors périodes d'ouverture	Pratique mise en place dans plusieurs CH
	Récupération de la chaleur via des échangeurs (à plaques, à roue, glycol)	Ecoflow
	Optimisation des batteries	DENCO-HAPPEL
	Ventilateurs haut rendement moteur IE3/IE4	
Gestion des consommables & durabilité	Filtres à basse consommation (classe énergétique A+)	
	Standardisation des cadres pour maintenance simplifiée	DENCO-HAPPEL

En ce qui concerne l'optimisation énergétique, les CTA intègrent différentes optimisations :

- Mise en veille programmée et arrêt des CTA en dehors des périodes d'ouverture lorsque les locaux ne sont pas occupés.
- Récupération de chaleur performante à l'aide d'échangeurs à plaque, à roue ou à eau glycolée (Ecoflow) ce qui réduit les besoins en chauffage ou en refroidissement.
- Optimisation des batteries de traitement de l'air pour limiter les pertes de charges : une optimisation du dimensionnement des ailettes permet de réduire les pertes de charges et améliore le transfert thermique.
- Des ventilateurs à haut rendement avec des moteurs IE3/IE4 permettent de réduire la consommation électrique nécessaire au déplacement de l'air.

En termes de gestion des consommables, deux avancées permettent d'améliorer le bilan écologique :

- Les filtres à basse consommation diminuent la perte de charge et réduisent donc directement la consommation électrique tout en maintenant une consommation d'air optimale.
- La standardisation des cadres facilite le remplacement des filtres et autres composants limitant ainsi les temps d'arrêt liés à la maintenance. Cela prolonge la vie des CTA.

5. Détergent – Désinfectant

Nous avons regroupé les informations des produits de 5 fournisseurs de détergents désinfectants (Anios/Ecolab, Ecolab, Schülke, Dr Weigert et ASP). Les familles de produits existantes sont celles décrites dans le Tableau 20 suivant.

Tableau 20 : Liste des familles de produits chimiques détergent – désinfectant

Produit / Famille	Exemples	Composés toxiques pour l'environnement	Commentaire
Biguanides	Incidin® Plus	Toxique aquatique, persistance élevée	Souvent combiné avec un ammonium quaternaire
Diamines aliphatiques	Surfanios®, Incidin®	Toxicité aquatique, irritation	Alternatives aux Ammoniums quaternaires purs
Ammoniums quaternaires	Benzalkonium chlorure	Hautement toxiques pour organismes aquatiques	Usage réduit
Aldéhydes	Cidex® (GA)	Très toxique	Abandonnés en stérilisation
Oxydants	Anioxy® Spray WS	Biodégradables, mais corrosifs	Plus favorables écologiquement
Alcools	Mikrozyd® AF	Volatils, faible persistance	Faible impact environnemental

Parmi les systèmes émergents, on peut également noter le nettoyage des sols et surface à l'eau sans produits chimiques à l'aide de bandeaux microfibre. Ces fibres présentent une mécanique de rétention des salissures via leur structure dense. Les fibres en polyester et nylon forment des micro-poches capables de retenir les salissures et organismes par simple friction et de par leur grande surface de contact (55).

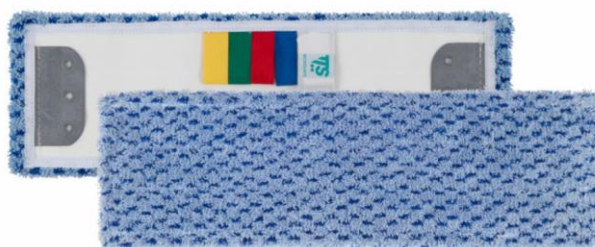


Figure 40 : Bandeau microfibre en polypropylène et polyester de la société FILMOP ®

Leur efficacité nécessite une aspersion/dépoussiérage préalable des souillures par un premier passage à sec. Cette alternative permet d'éliminer durablement les produits chimiques.

L'analyse du Tableau 20 présente les principales familles chimiques utilisées en détertion/désinfection. Il met en évidence des profils différents.

- Les biguanides présentent une toxicité élevée pour les milieux aquatiques et une forte persistance ⁽⁵⁶⁾. Cela limite leur intérêt malgré une efficacité élevée d'autant qu'ils sont souvent associés à des ammoniums quaternaires, eux-mêmes hautement écotoxiques.
- Les Ammoniums quaternaires ont largement été employés par le passé. Ils présentent un fort impact environnemental et de nombreuses restrictions réglementaires. En effet, ils sont inscrits sur la liste positives des produits biocides actifs de l'ECHA depuis 2012 et sont soumis au règlement UE 528/2012 ⁽⁵⁷⁾.
- Les diamines aliphatiques introduites comme alternative, conservent une toxicité aquatique importante mais apparaissent comme une option de substitution aux quaternaires purs.
- A l'inverse, les aldéhydes ont longtemps été considérés comme la référence pour la désinfection haut niveau sont désormais abandonnés en raison de leur toxicité humaine aiguë. En effet, l'INRS décrit le Glutaraldéhyde comme « irritant local fort quelle que soit la voie d'exposition » et « irritant respiratoire » ⁽⁵⁸⁾.
- Les oxydants (peroxyde d'hydrogène, acide peracétique) se démarquent par leur biodégradabilité rapide et leur faible persistance environnementale. Malgré cela, ils gardent un caractère corrosif. Ce sont aujourd'hui les agents les plus favorables sur le plan écologique ⁽⁵²⁾.
- Enfin, les alcools présentent un profil toxique relativement neutre, avec une volatilité élevée et une faible rémanence dans l'environnement. Ils peuvent être considérés comme des solutions à impact écologique limité.

III. Mise en place d'améliorations durables

1. Actions à fort impact environnemental

A l'aide de l'étude descriptive et de la revue des systèmes émergents, nous avons priorisé les postes les plus critiques puis mis en place plusieurs actions qui nous permettent d'installer notre unité de stérilisation dans une politique durable.

1.1. Action n°1 : diminution de l'empreinte fossile

L'étude des GES démontre que 45% des émissions totales de l'unité sont liées au gaz naturel. Le calcul des GES repose sur la multiplication de l'activité mesurée par un facteur d'émission de référence permettant d'obtenir un résultat exprimé en tonnes équivalent de CO₂ émit. Ainsi, 245 tonnes sont liées au gaz dont **150 tonnes** (27% du total de l'unité) **pour la production de vapeur pour les LD**. En parallèle, l'étude des émissions fossiles rapporte que **90% des émissions fossiles de l'unité sont liées à l'utilisation du gaz naturel**.

Le remplacement de l'ensemble du parc de LD par des modèles fonctionnant uniquement à l'électricité est donc une action à fort impact environnemental. Cette transition a été effectuée en accord avec l'équipe biomédical de notre établissement et a permis de réduire notre dépendance aux énergies fossiles.

En comptabilisant l'augmentation électrique lié au changement, ce sont 143 tCO₂ équivalent soit un quart de notre bilan d'émission qui devrait être économisé. Cela représente une économie de la combustion de 2 400 000 ADP fossile diminuant ainsi par 2 l'utilisation des ressources fossiles liées aux 1073 tonnes de gaz naturel brûlé chaque année pour la production de vapeur d'eau pour nos LD.

Le choix des LD a été réalisé à l'aide de la revue des technologies émergents afin d'optimiser nos consommations. Ce choix nous permettra de limiter le surcoût en électricité lié au renouvellement du parc uniquement électrique et de réaliser des économies en eau.

Ces économies se reflètent également sur le plan financier. En effet, une réduction de la consommation est liée à un gain financier. L'achat et l'amortissement des LD est

jugé acceptable au regard du budget annuel disponible notamment en tenant compte de l'amortissement prévu.

En ce qui concerne l'impact sociétal, la mise en place des laveurs modifiera les habitudes des agents. Une phase de formation est prévue afin de limiter les risques d'erreur lié au changement des habitudes. Les LD choisis intègrent des systèmes d'optimisation et un chargement automatique des racks (convoyeur) et déchargement automatique ce qui devrait diminuer les TMS. Une image du système utilisé est présentée en Figure 41.



Figure 41 : Convoyeurs automatiques de la société Belimed

La Figure 42 présente l'impact du remplacement du parc de LD sur les volets du développement durable.

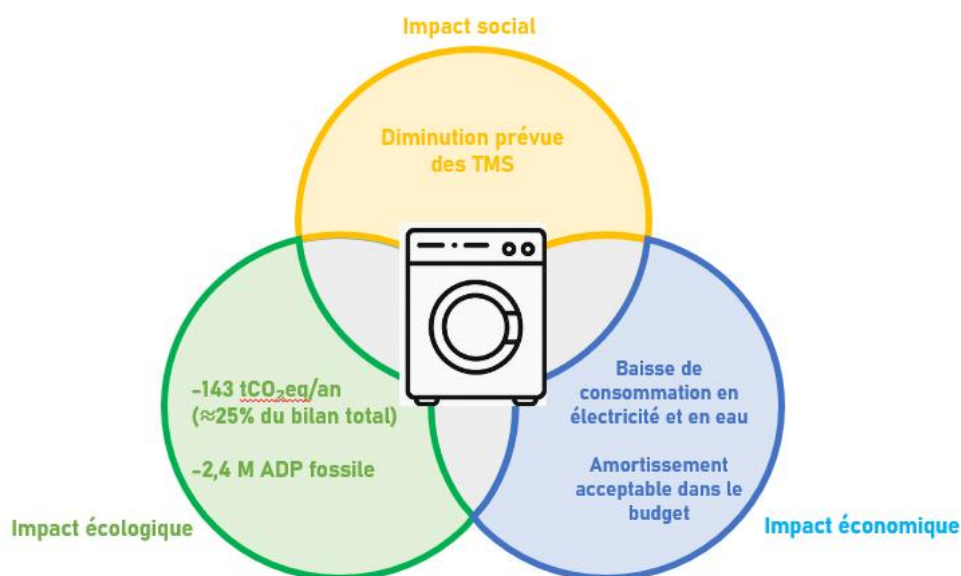


Figure 42 : Impact RSE du remplacement du parc des laveurs désinfecteurs

1.2. Action n°2 : diminution de l'empreinte en eau

Selon le modèle AWARE®, l'unité de stérilisation est source d'un **potentiel de privation de 65 000 m³ éq. manquant** dont à minima 7 681 m³ équivalents manquants étant lié aux **autoclaves** et notamment aux pompes à vides.

C'est pour cette raison que nous avons **équipé de pompes à vide sèches** sur une partie de notre parc de stérilisateur à basse température en remplacement des systèmes à eau. Cette modification a permis une économie d'environ 300 à 350 litres d'eau par cycle soit 2 500 m³ d'eau sur une année. Cela revient à une économie annuelle estimée d'environ 4 000 euros et un potentiel de privation de l'eau évité de 10 000 m³ éq. manquant sans impact sur les agents de production.

Cette mise en place a été validée par le comité technique de notre établissement.



Figure 43 : Pompe à vide sèche de la société Bosch

La Figure 44 ci-après présente l'impact du remplacement des pompes à vide sur les volets du développement durable.

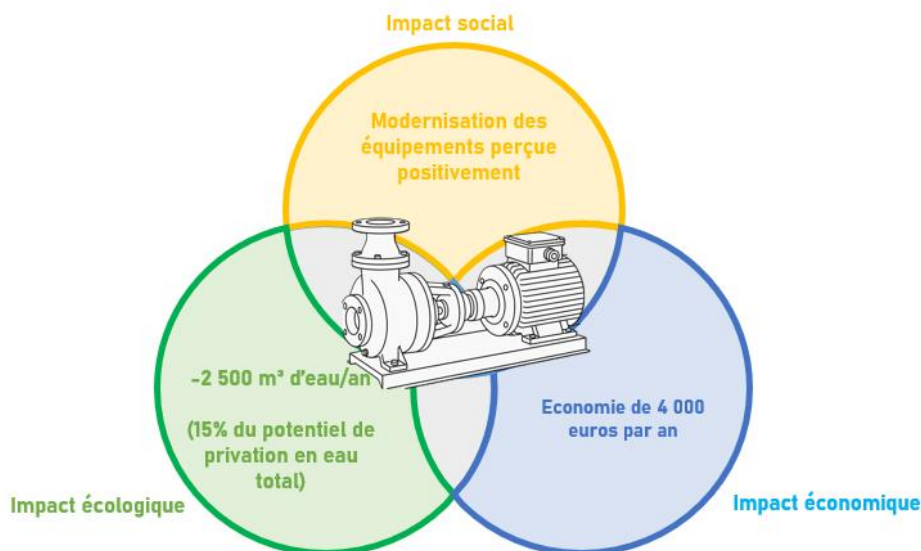


Figure 44 : Impact RSE du remplacement des pompes à vide

1.3. Action n°3 : limiter les produits chimiques toxiques

L'analyse des émissions chimiques de l'unité a mis en avant que les **détergents-désinfectant** utilisés présentent une écotoxicité dangereuse pour l'environnement (SURFA'NIOS PREM®, DETERG'ANIOS®). En effet, les produits de nettoyage de l'unité présentent des **CL50 poisson de 0,68 mg/L** sur les poissons et **CE50 respectives de 0,073 et 0,014** sur les Daphnies et les algues.

Dans une démarche de limitation globale de l'impact chimique sur les environnements aquatiques, nous souhaitons réduire l'usage des détergents désinfectants au strict nécessaire.

Leur **remplacement par une méthode de nettoyage à l'eau** accompagné d'un bandeau microfibre pour le nettoyage des sols et surfaces de l'unité a été validé par la commission Hygiène de notre établissement. Cela permettra de diminuer les rejets toxiques dans les eaux usées et les émissions dans l'atmosphère des agents.

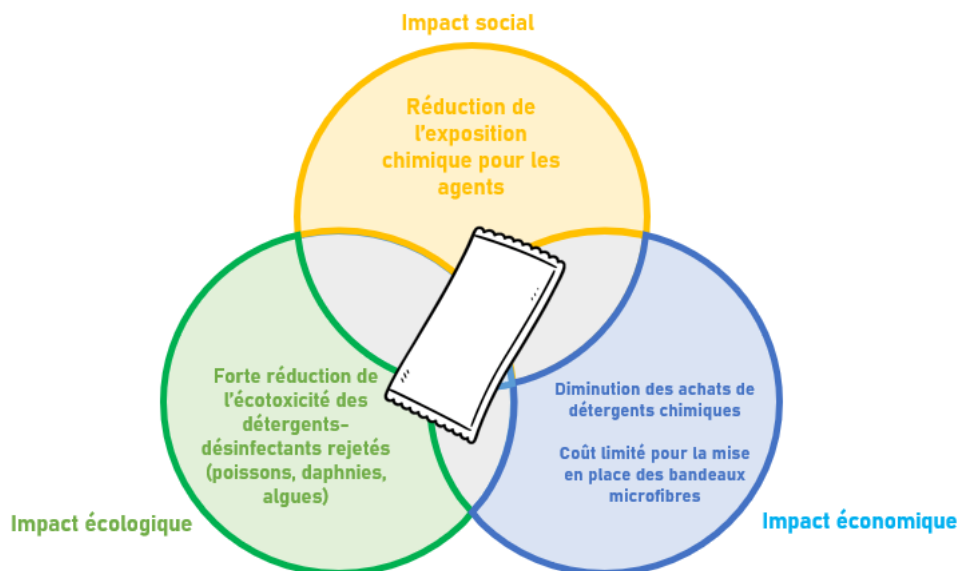


Figure 45 : Impact RSE du passage aux bandelettes microfibrées

2. Actions à plus faible impact environnemental

Plusieurs postes non critiques à plus faible impact ont également été identifiés et sont en cours d'investigation.

Les **CTA** font partie des équipements ayant les plus grosses émissions électriques de GES : **15 kg CO₂ équivalent** faisant d'eux de la deuxième plus grosse émission électrique individuelle. La plupart des avancées technologiques intègrent déjà des systèmes de mises en veille des appareils. Dans ce cadre, une analyse est en cours et nous permettra de d'évaluer la possibilité d'un **arrêt programmé de la CTA** en dehors des horaires d'ouverture et d'activité humaine. Cette réflexion doit intégrer une évaluation des risques tant un plan particulière que bactériologique.

Les **stérilisateurs au peroxyde d'hydrogène** émettant **83% de leur énergie en mode veille**, nous étudions la possibilité de leur **mise en arrêt** ou en veille durant la nuit. Cette stratégie permettrait une économie énergétique d'environ 4 000 kWh annuel soit 208 kg CO₂ équivalent et économique de 800 euros. Cependant, le redémarrage de l'équipement nécessitant 40 minutes avant d'être opérationnel, une réorganisation du temps des travail des agents s'impose.

L'introduction de **charlottes en tissu réutilisables** est actuellement à l'étude. Bien que l'impact écologique direct des charlottes à usage unique reste faible (16 kgCO₂eq), les charlottes réutilisables présentent des bénéfices sociaux. La possibilité d'y apposer un logo ou un signe distinctif contribue à renforcer la cohésion d'équipe et l'identité du service. Sur le plan organisationnel, nous souhaitons confier l'entretien au circuit de lingerie. En effet, les données actuelles montrent que la lingerie n'émet que 2 000 kgCO₂eq pour l'ensemble de l'activité sous-traitée et que la facturation est réalisée au poids. L'achat et l'intégration de charlottes réutilisables ne devrait pas présenter de surcout écologique et économique majeur.

Les produits achetés et notamment les articles de conditionnement et EPI représentent un levier d'action à considérer. En effet, les **feuilles d'intissés représentent** à elles seules **10 tonnes de CO₂ équivalent**. Il n'existe pas de marge de manœuvres écologiques sur l'achat de ces produits mais des solutions de retraitement existent. En effet, *SPS Medical (Sterimelt®)*⁽⁵⁹⁾ a mis sur le marché une machine permettant de **retraiter le polypropylène et le polyéthylène** non contaminé pouvant être revalorisés à des filières plastiques externes (Cf Figure 46). Fonctionnant à 300 °C, il densifie et réorganise la structure des matériaux pour produire des briques compactes de Polypropylène.



Figure 46 : Equipement de retraitement de polypropylène recyclable, SPS Médical (Stérilmelt®)

Ces composants sont présents majoritairement dans les feuilles d'intissés, scellés, masques chirurgicaux et articles de conditionnements pour conteneurs. L'équipement présente un investissement initial mais permet à long terme de générer des économies en créant une matière valorisable économiquement. Cet investissement pourrait être

composé globalement à hauteur du GHT (Groupement Hospitalier Territorial) et permettre de retraiter conjointement les déchets issus des unités de stérilisation. De plus, le cout énergétique est relativement faible. Socialement, l'appareil s'utilise facilement limitant les charges et les manipulations.

Discussion

Cette étude avait pour but d'évaluer à parts égales les impacts environnementaux, économiques et sociétaux d'une unité de stérilisation tout en explorant des pistes d'amélioration durable. Afin de souligner les apports et limites de notre approche, la discussion qui suit confronte les résultats aux données de la littérature.

I. Analyse critique des résultats

1. Dépenses énergétiques

L'analyse menée au CH de Valenciennes met en évidence un **impact carbone total de 571 tCO₂ eq**. Ces valeurs se situent dans la partie haute des bilans carbone rapportés dans les études récentes ⁽³³⁻³⁵⁾ ce qui s'explique par un volume d'activité élevé, une taille d'établissement plus importante ainsi que des choix méthodologiques plus vastes et complets (intégration des services et produits achetés, du déplacement domicile travail des agents, de la maintenance des équipements ...).

La hiérarchisation des consommations par postes confirme que le gaz naturel utilisé pour la production de vapeurs des LD constitue la principale source d'impact écologique. Plus généralement, ces résultats indiquent que la majeure part des émissions carbonées d'une unité de stérilisation est liée à la consommation d'énergie. En effet, la consommation d'électricité reste un des postes les plus importants notamment lié au fonctionnement des équipements lourds (autoclaves, CTA, LD ...). Les périodes de veille, en particulier sur les autoclaves, constituent un levier prioritaire pour réduire les émissions électriques et donc de GES ⁽³¹⁾.

De plus, il est important de noter que la part carbonée d'émissions liée à l'électrique dépend fortement du mix énergétique du pays. En France, l'impact carbone de l'électrique reste limité car seulement 7% de la production électrique provient de ressources fossiles grâce à la forte contribution du nucléaire et renouvelable. En revanche, cette proportion varie considérablement à l'échelle européenne.

Selon *Total Energie Fondation* ⁽⁶⁰⁾ (Cf Figure 47), le recours en Allemagne au charbon et au gaz naturel représente plus de 40% du mix électrique. Il en est de même en Pologne ou la dépendance au charbon atteint presque 70%. Ainsi, ce bénéfice électrique ne doit pas être généralisé sans nuance.

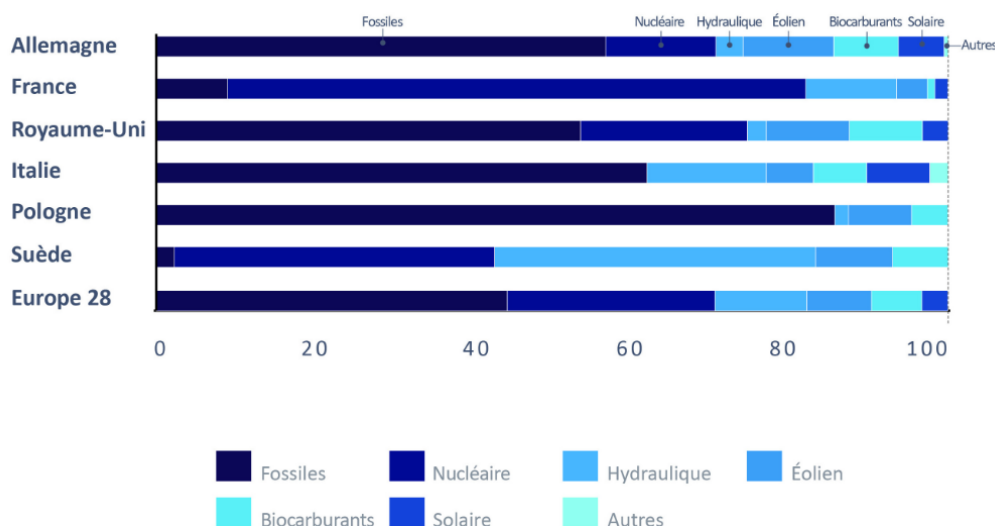


Figure 47: Mix électrique en 2016 pour 6 pays Européen selon Total Energie Fondation ⁽⁶⁰⁾

Le **déplacements domicile travail** des agents représente 56 tonnes de CO₂ équivalent. Cette forte empreinte s'explique par le fait que la quasi-totalité des agents utilise son véhicule personnel. Cela constitue un facteur défavorable pour ce poste d'émissions. Pour autant, des actions de promotion d'une mobilité plus durable sont en cours dans notre CH : aides à l'achat de vélos, amélioration du garage à vélo, présence d'une prime covoiturage et sites de covoiturage. Malgré ces initiatives, les résultats restent contraints par l'organisation du travail en horaires postés et la grande variabilité des plannings. En effet, plus de 12 plages horaires différentes sont recensés, incluant le travail de nuit, ce qui limite les possibilités de mutualisation des trajets.

Les **cabines de lavage** représentent également une consommation notable tant en électricité (10,5 tCO₂eq) qu'en eau (1 841 m³ eq manquant). Il s'agit du 3^{ème} type d'équipement présentant la plus importante émission de GES (27 436 kgCO₂eq). Toutefois, son **utilisation** reste **avantageuse** d'un point de vue économique et social. En effet, les cabines de lavage réduisent le besoin de main d'œuvre par rapport à un lavage manuel lequel impliquerait une hausse des couts, une augmentation du nombre

d'agents nécessaires, un allongement des délais de prise en charge des conteneurs et du dispositif de livraison et un risque plus important de TMS pour le personnel.

En ce qui concerne les **procédés d'emballage**, les résultats peuvent être comparés entre deux types de conditionnement : les conteneurs réutilisables et les emballages intissés en polypropylène.

Nos résultats montrent que l'achat des feuilles d'intissés et des rubans adhésifs nécessaire au conditionnement de 200 paniers génèrent 72,5 kg de CO₂ eq. A titre de comparaison, l'achat d'un conteneur en aluminium auquel s'ajoute 200 filtres et scellés associés ne représente que 30 kg de CO₂ eq. Sur le plan social, un sondage mené auprès des agents révèle une perception globalement équilibrée avec une légère préférence pour les conteneurs malgré leur poids. Néanmoins, l'évaluation du conditionnement mériterait une analyse plus complète en intégrant les coûts de maintenance, de réparation et de gestion des déchets accompagné d'une analyse économique. Une étude anglaise a mis en avant l'intérêt de l'utilisation de conteneurs réutilisables à partir d'une ACV réalisé pour chaque type de conditionnement de la fabrication à la destruction des déchets. L'utilisation de conteneurs réutilisables permettrait une réduction de près de 85% de l'empreinte carbone par rapport aux emballages à usage unique avec un point d'équilibre écologique atteint après une centaine de cycles ⁽³²⁾.

Enfin, il convient de noter que la question de la sécurité en tant que barrière microbiologique est favorable aux emballages intissés. Une étude nord-américaine datant de 2015 ayant comparé la recontamination bactériologique de conteneurs rigides à des emballages d'intissés a montré que 87% des conteneurs rigide ont été recontaminés contre aucun pour les plateaux emballés ⁽⁶¹⁾. De plus, les feuilles en non-tissés ont l'avantage de ne pas encombrer les zones de stockage et de diminuer le poids total de la manutention journalière par les agents.

2. Dépenses en eau

Au-delà de la consommation d'énergie, la consommation des ressources et plus particulièrement de l'eau ne constitue pas une source majeure d'émissions de GES. Cependant, elle prend une importante part de privation de l'environnement. En effet, elle génère un potentiel de privation de 65 000 m³ éq. manquant selon le modèle AWARE®. Cette valeur ne paraît que peu pertinente lors d'une analyse ciblée d'un équipement mais est importante dans une approche de durabilité globale. Ce potentiel de privation de l'eau représente un équivalent de la consommation en eau annuelle de 1 118 Français selon l'ADEME dans un contexte de déficit hydrique chronique.

Selon une étude publiée dans la revue Science en mars 2025 ⁽⁶²⁾, les réserves d'eau stockées sur les continents incluant les sols, lacs et rivières ont diminué de plus de 2 000 giga tonnes au cours des deux dernières décennies. Cette perte est jugée irréversible à l'échelle humaine. L'installation de pompes à vide sèches illustre une action à fort rendement réduisant l'impact hydrique de 10 000 m³ éq. manquant.

Outre cette action technique, la mise en place de dispositifs de recyclage lors du choix des équipements à l'achat permettrait d'optimiser les consommations en eau. En effet, les technologies actuelles permettent par exemple de récupérer les eaux de rinçage afin d'alimenter certains usages ne nécessitant pas une eau de qualité (lavage préalable pour les laveurs désinfecteurs, eau de refroidissement ...).

Enfin, un dernier point critique réside dans l'utilisation des osmoseurs dont le fonctionnement engendre en moyenne le rejet d'un tiers du volume d'eau brute traité. Cette eau encore de bonne qualité sanitaire est actuellement rejetée et pourrait être revalorisée pour des usages externes au sein de l'établissement.

3. Diminution des émissions toxiques

Outre les aspects de consommation des ressources, l'analyse descriptive environnementale a mis en lumière l'importance des impacts chimiques. L'inventaire des produits chimiques révèle l'utilisation de produits toxiques pour la santé humaine (peroxyde d'hydrogène) et pour l'environnement (Amines quaternaires, Biguanides, Tensioactifs cationiques, Diamines aliphatiques, Hypochlorite de Sodium,

Octhilinone). Les nouvelles préconisations de la SF2S ⁽⁶³⁾ sont de réduire à la source ces substances lors de la restructuration d'une unité de stérilisation. Le remplacement partiel par un nettoyage à l'eau répond à cette exigence. En effet, une étude de 2015, publiée dans le *Journal of Hospital Infection* ⁽⁶⁴⁾ met en avant que des chiffons microfibres sont capables de retirer 2,4 log10 sur 4,4 log10 spores inoculées. Cela met en avant une efficacité supérieure des chiffons microfibre par rapport aux chiffons en coton pour éliminer les spores de *Clostridium difficile* de surfaces céramiques. Pour nuancer, une étude de *Robertson et al.* ⁽⁶⁵⁾ publiée en 2019 démontre que l'utilisation d'une microfibre imbibée de détergent/désinfectant est significativement plus efficace pour réduire la viabilité des micro-organismes.

Dans le cadre de notre démarche durable, nous avons substitué en 2024 les **détergents désinfectants de haute performance** utilisés au bloc opératoire pour la pré-désinfection des dispositifs médicaux. Nous avons choisi de remplacer l'ANIOS EXCEL D[®] dont la formulation repose sur des ammoniums quaternaires concentrés (Chlorure de didecyldiméthylammonium) reconnu pour leur forte toxicité aquatique par de l'ANIOSYME X3[®]. Ce dernier contient des tensioactifs cationiques contenant des ammoniums quaternaires (propionate d'ammonium) modifiés et en plus faible quantité. Il est associé avec une Biguanide (PHMB) présentant une toxicité plus faible mais plus persistante vis-à-vis des environnements aquatiques. Ce choix engendre cependant un surcoût économique.

4. Aspects sociétaux

Si les aspects environnementaux sont essentiels, la durabilité ne peut être faite sans de bonnes conditions de travail. L'audit QVCT révèle une communication interne fluide et claire, une clarté des missions et une bonne répartition des tâches. L'accès à la formation est également positif et l'encadrement des nouveaux arrivants est systématique ce qui renforce la transmission des compétences. Cependant, il y a une présence de risques psychosociaux : 45% des agents rapportent un stress fréquent et 50% des douleurs musculosquelettiques. Enfin, 45% se sentent peu valorisés. Ces données rejoignent celles de *Moreira da-Silva et al.* et *Rego et al.* ^(36,37) et plaident pour des mesures ergonomiques et préventives renforcées. Ce stress peut être à l'activité

du bloc opératoire. En effet, une désorganisation fréquente du bloc ainsi que des pannes de laveurs sont des facteurs favorisant.

5. Aspects économiques

La durabilité des actions repose aussi sur leur viabilité économique. Les investissements liés au renouvellement des laveurs désinfecteurs et aux pompes à vide sèches sont significatifs mais ne se dérobent pas au budget d'amortissement annuel des LD. Le montant annuel 2024 de l'unité de stérilisation alloué à l'énergie est estimé à 100 000 euros soit 3 à 4% du budget annuel de l'unité et constitue un poste de dépense élevé. Ce poids financier justifie pleinement la conduite de cette étude. Dans notre contexte, la mise en place d'actions durables nous permet d'atteindre un équilibre entre performance économique et responsabilité écologique.

A partir des résultats, le modèle de facturation à l'instrument (« S ») semble mieux différencier les compositions en fonction du nombre réel d'instruments tandis que le modèle UO Sté applique une logique plus homogène. En effet, dans le modèle de l'UO Sté, les compositions comprenant 11 à 60 instruments sont toutes au même prix. Le modèle du CH de Valenciennes semble plus précis dans ces intervalles. Ce modèle à l'instrument incite les blocs opératoires à rationaliser les compositions, notamment dans le cadre d'un modèle économique polaire comme dans notre CH. Il est un levier incitant les équipes de blocs à réduire les compositions inutilisées et constitue donc un axe de négociation et d'optimisation des compositions.

II. Forces et limites de l'étude

Cette étude présente plusieurs atouts. D'une part, elle prend en compte simultanément les trois dimensions du développement durable, ce qui est rarement intégré dans la littérature. D'autre part, l'utilisation de données réelles issus d'un suivi annuel renforce sa représentativité. Enfin, le recours à des méthodes reconnues (BEGES®, AWARE®, SEIRICH®) et d'une grille QVCT constitue un gage de robustesse.

Néanmoins, certaines limites sont à souligner. En effet, l'analyse n'a été conduite que sur une seule unité de stérilisation ce qui limite la portée des résultats. De plus, certaines données écologiques ont dû être estimées en raison de l'impossibilité de réaliser des mesures directes. Par ailleurs, aucune ACV n'a été effectuée sur les consommables. Cela permettrait d'apporter plus de précisions aux émissions estimées. Enfin, les données sociales sont basées sur un échantillon de 50% de l'effectif ce qui introduit un biais de représentativité.

III. Perspectives futures

Cette étude ouvre la voie à plusieurs axes de travail et de réflexion complémentaires.

Pour commencer, il serait pertinent de reproduire l'évaluation à un horizon d'une à deux années. Cela permettrait de quantifier les gains réels obtenus liés à la mise en place des nouveaux équipements et d'identifier de potentiels effets rebond.

La mise en place d'un outil interne de type « éco-score » pour chaque équipement de stérilisation permettrait de guider les achats durables à l'image des nouvelles Guidelines éditées par l'AFNOR (Agence Française de Normalisation) en juin 2025 à destination des fournisseurs. Il s'agit là d'un index durable par référence permettant aux laboratoires de justifier de la durabilité de leur produits ⁽⁶⁶⁾. Cette grille a été présentée en réponse à la loi Climat Résilience qui oblige à l'horizon 2027 d'intégrer des scores durables lors de l'achat de dispositifs médicaux ⁽⁶⁷⁾.

Cette étude servira également de base lors du choix d'un dispositif médical à usage unique ou réutilisable et notamment pour évaluer la part écologique de la stérilisation dans le retraitement des dispositifs médicaux. La part des DMUU (Dispositifs Médicaux à Usage Unique) étant en pleine expansion, la question se pose donc de les restériliser. Actuellement, le RDM (Règlement relatif aux Dispositifs Médicaux) Européen 2017 ⁽⁶⁸⁾ autorise le retraitement des DMUU si la réglementation nationale le permet. En France, la réglementation (BPPH ⁽¹⁷⁾) interdit la re stérilisation des DMUU. Cependant le PLFSS (Projet de Loi de Financement de la Sécurité Sociale), via son article 66, a débuté en 2024 une expérimentation interne sur deux ans sur le retraitement des DMUU confié à un prestataire externe (Vanguard) ⁽⁶⁹⁾. Ce

contexte conduit à interroger la validité d'un raisonnement fondé uniquement sur des critères écologiques. Le décret n°2025-895 du 4 septembre 2025 ⁽⁷⁰⁾ instaure l'expérimentation de manière nationale sur deux ans. Cette démarche vise à évaluer la faisabilité technique de la re stérilisation des DMUU ainsi que ses impacts économiques et écologiques et les bénéfices/risques associés pour les patients. L'expérimentation concerne un périmètre limité de dispositifs médicaux (cathéters de cartographie et d'ablation cardiaque, dispositifs d'angiographie) et peut être réalisé par re certification CE (Certification Européenne) par un fabricant ou via un prestataire externe mandaté par l'établissement de santé. Un comité d'évaluation indépendant est chargé de produire un rapport final destiné à éclaircir les pouvoirs publics quant à la prolongation ou cessation de ce dispositif. Selon une étude menée pendant la pandémie de la maladie du Coronavirus en 2020 ⁽⁷¹⁾ le retraitement des masques à usage unique a permis une réduction de 58% du bilan carbone pour 5 réutilisation des masques illustrant l'intérêt écologique de cette approche.

En Allemagne, la réglementation autorise le retraitement des DMUU à l'exception de ceux destinés à administrer des médicaments cytotoxiques ou radiopharmaceutiques. Certaines situations sont soumises à des méthodes spécifiques ou à des restrictions. Au Pays-Bas, le retraitement est également autorisé sous conditions strictes. Depuis 2019, une loi y encadre cette pratique conformément à l'article 17 du RDM ⁽⁶⁸⁾ et le « CE reprocessing ». Ainsi, l'établissement qui traite le DMUU est considéré comme fabricant avec l'ensemble des responsabilités imputables à ce titre.

L'impact énergétique croissant des systèmes numériques représente également un enjeu majeur à anticiper. L'étude de la surveillance environnementale n'a exprimé qu'une faible part d'émission carbone (5 000 kg de CO₂eq) lié à sa maintenance. Il est à noter que l'énergie nécessaire au fonctionnement externe des serveurs de bases de données n'y est pas présentée. Selon l'ADEME, les data centers représentent en janvier 2025 4,4 % de l'impact carbone en France et 2% dans le monde. Certaines estimations indiquent qu'il pourrait s'agir de 6% en 2050 ⁽⁷²⁾.

En juin 2025, l'*EESI* (Environmental and Energy Study Institute) a publié un article faisant état de l'utilisation excessive de l'eau pour refroidir les serveurs. Il s'agit de millions de litres par jour pour un data center de grande taille dont près de 80% s'évaporant et irrécupérable ⁽⁷³⁾. Avec l'essor des solutions numériques de gestion de données médicales et des outils d'intelligence artificielle, la consommation énergétique

et l'empreinte environnementale du numérique constituent un enjeu à anticiper. Les infrastructures nécessaires peuvent présenter une part significative de l'impact environnemental global d'un établissement.

Conclusion

Cette étude confirme que l'unité de stérilisation est un levier stratégique de transition écologique. Les résultats obtenus montrent qu'une approche complète permet de concilier réduction d'impact environnemental, maintien des performances économiques et amélioration des conditions de travail. La diffusion de ces méthodes et leur adaptation à d'autres contextes pourraient contribuer à inscrire durablement la stérilisation hospitalière dans une trajectoire bas carbone et socialement responsable.

« La meilleure médecine est celle qui s'accorde avec la nature »
Galien

BIBLIOGRAPHIE

1. Haut Conseil de la Santé Publique. Approche conceptuelle de la qualité des soins. adsp. juin 2001;
2. Haut Conseil de la Santé Publique. Stratégie nationale de santé 2023-2033. 28 mars 2023;
3. Watts N, Amann M, Arnell N, Ayeb-Karlsson S, Belesova K, Boykoff M, et al. The 2019 report of The Lancet Countdown on health and climate change: ensuring that the health of a child born today is not defined by a changing climate. The Lancet. nov 2019;394(10211):1836-78.
4. Haute Autorité de Santé. Certification des établissements de santé pour la qualité des soins. 2025.
5. Ministère de la Santé et de la Prévention. Planification écologique du système de santé. 2023.
6. INSEE. Dépense courante de santé au sens international [Internet]. 2025 janv [cité 8 sept 2025]. Disponible sur: <https://www.insee.fr/fr/statistiques/2384508>
7. Pichler PP, Jaccard IS, Weisz U, Weisz H. International comparison of health care carbon footprints. Environ Res Lett. 1 juin 2019;14(6):064004.
8. The Shift Project. Décarboner la santé pour soigner durablement [Internet]. 2023 avr [cité 8 sept 2025]. Report No.: V2. Disponible sur: https://theshiftproject.org/app/uploads/2025/01/180423-TSP-PTEF-Synthese-Sante_v2.pdf
9. INSEE. Emploi, chômage, revenus du travail [Internet]. 2023 [cité 8 sept 2025]. Disponible sur: <https://www.insee.fr/fr/statistiques/7456956>
10. Chasseigne V, Leguelinel-Blache G, Nguyen TL, de Tayrac R, Prudhomme M, Kinowski JM, et al. Assessing the costs of disposable and reusable supplies wasted during surgeries. International Journal of Surgery. 1 mai 2018;53:18-23.

11. International Organization for Standardization. ISO 11139:2018 - Stérilisation des produits de santé - Vocabulaire des termes utilisés dans les normes de procédés de stérilisation et les équipements connexes. 2018.
12. Prusiner SB. Prions. Proc Natl Acad Sci USA. 10 nov 1998;95(23):13363-83.
13. William A. Rutala DJW, Healthcare, Infection Control Practices Advisory Committee (HICPAC). Guideline for Disinfection and Sterilization in Healthcare Facilities. 2008.
14. Spaulding EH. Disinfection, sterilization and preservation. Lawrence C, Block SS. 1968;517-31.
15. SF2H (Société Française d'Hygiène Hospitalière). Guide de bonnes pratiques de traitement des dispositifs médicaux réutilisables. 2022.
16. European Pharmacopoeia. European Directorate for the Quality of Medicines & HealthCare (EDQM). 11th ed. Strasbourg: Council of Europe; 2023.
17. Agence française de santé — DHOS. Bonnes pratiques de pharmacie hospitalière. 2001.
18. AFNOR. NF EN 554:1994 - Stérilisation – Validation des procédés de stérilisation à la vapeur d'eau. 1994.
19. International Organization for Standardization. ISO 17665-1:2006 - Sterilization of health care products - Moist heat - Part 1: Requirements for the development, validation and routine control of a sterilization process for medical devices. 2006.
20. International Organization for Standardization. ISO 22441:2022 - Sterilization of health care products - Low temperature vaporized hydrogen peroxide - Requirements for the development, validation and routine control of a sterilization process for medical devices. 2022.
21. Direction générale de la santé (DGS). Instruction DGS/RI3 n°2011-449 du 1er décembre 2011 relative à la prévention du risque de transmission d'agents transmissibles non conventionnels (ATNC) lors des actes invasifs utilisant des dispositifs médicaux. Bull Off Santé Prot Soc Solidar.; 2012.

22. International Organization for Standardization. ISO 14937:2009 - Sterilization of health care products - General requirements for characterization of a sterilizing agent and the development, validation and routine control of a sterilization process for medical devices. 2009.
23. International Organization for Standardization. ISO 9001:2015 - Quality management systems - Requirements. 2015.
24. International Organization for Standardization. ISO 13485:2016 – Medical devices – Quality management systems – Requirements for regulatory purposes. 2016.
25. SF2S (Société Française des sciences de la Stérilisation). Guide des Bonnes Pratiques de Stérilisation des Dispositifs Médicaux. 4eme édition; 2016.
26. Commission Européenne. Responsabilité sociale des entreprises: une nouvelle stratégie de l'UE pour la période 2011-2014. 2011.
27. ADEME. Agence de la transition écologique (ADEME). Paris : ADEME [Internet]. 2025 [cité 17 août 2025]; Disponible sur: <https://www.ademe.fr>
28. Union européenne. Règlement (CE) n° 1907/2006 du Parlement européen et du Conseil du 18 décembre 2006 concernant l'enregistrement, l'évaluation, l'autorisation et les restrictions des substances chimiques (REACH), instituant une Agence européenne des produits chimiques. 2006.
29. MEDEF, CFDT, CGT, CFE-CGC, CFTC, FO. Accord National Interprofessionnel. Qualité de vie au travail et égalité professionnelle. 2013.
30. Lambert C. L'écostérilisation : un challenge pour tous. Conférence, 7e Journées Nationales Suisses sur la Stérilisation [Internet]. 2011 [cité 8 sept 2025]. Disponible sur: <https://www.sssh.ch/uploads/media/06lambert-F-080611.pdf>
31. Léa Champeyroux, Dr. Anne Rucheton, Dr. Fabrice Vidal. Diminuer la consommation électrique d'un service de stérilisation : est-ce si compliqué ? La revue pharmaceutique, Europharmat. 2024;6(2).
32. Herman J. Friedericy, Cas W. van Egmond, Joost G. Vogtländer, Anne C. van der Eijk, Frank Willem Jansen. Reducing the Environmental Impact of Sterilization Packaging in Healthcare: Comparative Life Cycle Assessment. 2021.

33. Sahel E, Boulnois A, Maran M, Dauchot JM. Empreinte carbone d'une unité de stérilisation : importance des émissions indirectes ? Le Pharmacien Clinicien. mars 2024;59(1):e18.
34. Suzie Lenoir. Evaluation des émissions de gaz à effet de serre d'une unité de stérilisation. Congrès SF2S. 25 sept 2024.
35. Deschavannes A. Calcul du bilan carbone d'une stérilisation. SF2S Congres. sept 2021.
36. Moreira da-Silva V, Pontes DO, Pereira PP da S, Monteiro JC, Cruz MN. Evaluation of working conditions at a central sterile services department in northern Brazil. Rev Bras Med Trab. 2021;19(4):472-81.
37. Rego GMV, Rolim ILTP, D'Eça Júnior A, Sardinha AH de L, Lopes GSG, Coutinho NPS. Quality of life at work in a central sterile processing department. Rev Bras Enferm. 2020;73(2):e20180792.
38. SF2S (Société Française des sciences de la Stérilisation), ANAP (Agence Nationale de la Performance Sanitaire et médico-sociale). Outil d'autodiagnostic en stérilisation - Indicateurs et coûts en stérilisation [Internet]. 2017 [cité 8 sept 2025]. Disponible sur: <https://anap.fr/s/article/urgences-publication-1886>
39. ANAP, ADOPALE. Outil d'autodiagnostic stérilisation. 2015.
40. Commission Européenne. RECOMMANDATION (UE) 2021/2279 relative à l'utilisation de méthodes d'empreinte environnementale pour mesurer et indiquer la performance environnementale des produits et des organisations sur l'ensemble du cycle de vie. 2021.
41. Association pour la transition Bas Carbone (ABC). Méthodologie Bilan Carbone® – guide méthodologique – version 9. [Internet]. ABC; 2025 [cité 8 sept 2025]. Disponible sur: <https://abc-transitionbascarbonate.fr/la-methode-bilan-carbone-2025/>
42. WRI & WBCSD. GHG Protocol, The Greenhouse Gas Protocol: A Corporate Accounting and Reporting Standard [Internet]. 2004 [cité 8 sept 2025]. Disponible sur: <https://ghgprotocol.org>

43. ADEME (Agence de la transition écologique), Ministère de la transition écologique. Méthode pour la réalisation des bilans d'émissions de gaz à effet de serre - version 5 [Internet]. 2022 [cité 8 sept 2025]. Disponible sur: https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/documents/methodo_BEGES_decli_07.pdf
44. ECOVAMED. Analyse de cycle de vie – Gants nitrile [Internet]. 2022 [cité 21 juill 2025]. Disponible sur: https://uploads-ssl.webflow.com/6151b650ce4cd9198b1fd7e8/627f75037e1c2e5957121d9a_Analyse_de_cycle_de_vie_Gants_Nitrile_ECOVAMED_Mai-2022.pdf
45. CIRAIG. Analyse du cycle de vie des masques à usage unique selon trois scénarios de fin de vie [Internet]. 2022 [cité 21 juill 2025]. Disponible sur: <https://ciraig.org/wp-content/uploads/acv-masques-usage-unique-trois-scenarios.pdf>
46. MÖLNYCKE HEALTHCARE®. Sustainability report 2016. 2016.
47. INRS. SEIRICH v 4.2.0 (logiciel) Système d'Évaluation et d'Information sur les Risques Chimiques [Internet]. 2025 [cité 8 sept 2025]. Disponible sur: <https://www.inrs.fr/publications/outils/seirich.html>
48. Seifudem G, Berger M, Müller Schmied H, Boulay AM. The updated and improved method for water scarcity impact assessment in LCA, AWARE 2.0. 2025.
49. Van Oers L, Guinée JB, Heijungs R. Abiotic resource depletion potentials (ADPs) for elements revisited—updating ultimate reserve estimates and introducing time series for production data. *Int J Life Cycle Assess.* févr 2020;25(2):294-308.
50. EDF (Electricité de France). Facts & Figures 2024 [Internet]. 2024 [cité 8 sept 2025]. Disponible sur: <https://www.edf.fr/en/the-edf-group/dedicated-sections/investors/financial-and-extra-financial-performance/edf-presentation-facts-figures>
51. ANACT (Agence nationale pour l'amélioration des conditions de travail). Référentiel Qualité de vie et des conditions de travail (QCVT). 2024.
52. INRS. Peroxyde d'hydrogène et solutions aqueuses. Base de données Fiches toxicologiques. janv 2022.

53. ANAP. Autodiagnostic du fonctionnement des unités de stérilisation – Guide méthodologique. 2022.
54. Ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires, Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté alimentaire, Ministère du Travail, de la Santé et des Solidarités, Ministère de l'Industrie et de l'Énergie, Secrétariat d'État chargé de la mer et de la biodiversité. Instruction interministérielle du 1er juillet 2024 relative à la mise en œuvre des mesures du plan d'action pour une gestion résiliente et concertée de l'eau [Internet]. 2024 [cité 21 août 2025]. Disponible sur: <https://www.legifrance.gouv.fr/circulaire/id/45570>
55. Fukuzaki S. Features and Medical Applications of Microfiber Cloth for Cleaning Instruments with Wipes. *Therapeutic Research*. 2019;vol 40 no 11.
56. INRS. Chlorhydrate de poly(hexaméthylène biguanide). Base de données Fiches toxicologiques; 2016.
57. Union européenne. Règlement (UE) n° 528/2012 du Parlement européen et du Conseil du 22 mai 2012 concernant la mise à disposition sur le marché et l'utilisation des produits biocides. 2012.
58. INRS. Glutaraldéhyde. Base de données Fiches toxicologiques; 2018.
59. Health Estate Journal. La première unité de recyclage de PP en Angleterre fait ses preuves. *GESTION DES DECHETS*. oct 2018;
60. TotalEnergies Fondation. Énergie : l'Europe et l'électricité en 2 tableaux. 4 oct 2019 [cité 9 sept 2025]; Disponible sur: <https://www.planete-energies.com/fr/media/article/energie-leurope-lelectricite-en-2-tableaux>
61. Shaffer HL, Harnish DA, McDonald M, Vernon RA, Heimbuch BK. Sterility maintenance study: Dynamic evaluation of sterilized rigid containers and wrapped instrument trays to prevent bacterial ingress. *American Journal of Infection Control*. déc 2015;43(12):1336-41.
62. Seo KW, Ryu D, Jeon T, Youm K, Kim JS, Oh EH, et al. Abrupt sea level rise and Earth's gradual pole shift reveal permanent hydrological regime changes in the 21st century. *Science*. 28 mars 2025;387(6741):1408-13.

63. Okiemy EK, Baudonnet MA, Francois N, Jacques-Terracol V, Marguerite S, Rochefort F, et al. Nouvelles préconisations et approche ergonomique pour la conception et la restructuration. Contamin Expert, Cahier spécial Salles propres. 2023;46-52.
64. Trajtman AN, Manickam K, Alfa MJ. Microfiber cloths reduce the transfer of Clostridium difficile spores to environmental surfaces compared with cotton cloths. Am J Infect Control. 1 juill 2015;43(7):686-9.
65. Robertson A, Barrell M, Maillard JY. Combining detergent/disinfectant with microfibre material provides a better control of microbial contaminants on surfaces than the use of water alone. Journal of Hospital Infection. sept 2019
66. SPEC, AFNOR. Index DM durable : Méthodologie de calcul de critères environnementaux et sociaux appliqués aux dispositifs médicaux. 2025.
67. France. LOI n° 2021-1104 du 22 août 2021 portant lutte contre le dérèglement climatique et renforcement de la résilience face à ses effets - JORF n°0196. 2021.
68. Union européenne. Règlement (UE) 2017/745 du Parlement européen et du Conseil du 5 avril 2017 relatif aux dispositifs médicaux - Journal officiel de l'Union européenne, L 117. 2017.
69. France. Loi n° 2022-1616 du 23 décembre 2022 de financement de la sécurité sociale pour 2023 - art. 66. JORF n°0299. 2022.
70. France. Décret n° 2025-895 du 4 septembre 2025 relatif à l'expérimentation du retraitement de certains dispositifs médicaux à usage unique - J Off République Française. 2025.
71. Van Straten B, Ligtelijn S, Droog L, Putman E, Dankelman J, Weiland NHS, et al. A life cycle assessment of reprocessing face masks during the Covid-19 pandemic. Sci Rep. 3 sept 2021;11(1):17680.
72. ADEME. Data centers : la face pas si cachée du numérique. janv 2025.
73. Miguel Yañez-Barnuevo. Data Centers and Water Consumption. EESI (Environmental and Energy Study Institute). 25 juin 2025.

ANNEXES

Annexe A : Emissions de Gaz à effet de serre liées à chaque équipement.

Catégorie	Paramètre	Émission carbone	Poste BEGES	Scope GHG
Equipements	Autoclaves	Eau	Emissions indirectes liées à la consommation autre que l'électricité	2.2
		Electricité	Emissions indirectes liées à la consommation d'électricité	2.1
		Traitement des déchets	Déchets générés par les opérations	4.3
		Immobilisation	Immobilisation de biens	4.2
		Maintenance	Produits et services achetés	4.5
	Laveurs désinfecteurs électrique	Eau	Emissions indirectes liées à la consommation autre que l'électricité	2.2
		Electricité	Emissions indirectes liées à la consommation d'électricité	2.1
		Détergent	Déchets générés par les opérations	4.3
		Traitement des déchets	Déchets générés par les opérations	4.3
		Immobilisation	Immobilisation de biens	4.2
		Maintenance	Produits et services achetés	4.5
	Laveurs désinfecteurs à vapeur	Eau	Emissions indirectes liées à la consommation autre que l'électricité	2.2
		Gaz	Emissions directes des sources fixes de combustion	1.1
		Détergent	Déchets générés par les opérations	4.3
		Traitement des déchets	Déchets générés par les opérations	4.3
		Immobilisation	Immobilisation de biens	4.2
		Maintenance	Produits et services achetés	4.5
	Laveurs de pre-désinfection	Eau	Emissions indirectes liées à la consommation autre que l'électricité	2.2
		Electricité	Emissions indirectes liées à la consommation d'électricité	2.1
		Détergent	Déchets générés par les opérations	4.3
		Traitement des déchets	Déchets générés par les opérations	4.3
		Immobilisation	Immobilisation de biens	4.2
		Maintenance	Produits et services achetés	4.5
	Stérilisateur basse température au peroxyde d'hydrogène	Eau	Emissions indirectes liées à la consommation autre que l'électricité	2.2
		Electricité	Emissions indirectes liées à la consommation d'électricité	2.1
		Peroxyde d'hydrogene	Déchets générés par les opérations	4.3
		Traitement des déchets	Déchets générés par les opérations	4.3
		Immobilisation	Immobilisation de biens	4.2
		Maintenance	Produits et services achetés	4.5

	Cabine de lavage	Eau	Emissions indirectes liées à la consommation autre que l'électricité	2.2
		Electricité	Emissions indirectes liées à la consommation d'électricité	2.1
		Détergent	Déchets générés par les opérations	4.3
		Traitement des déchets	Déchets générés par les opérations	4.3
		Immobilisation	Immobilisation de biens	4.2
		Maintenance	Produits et services achetés	4.5
	Centrale de traitement de l'air	Electricité	Emissions indirectes liées à la consommation d'électricité	2.1
		Traitement des déchets	Déchets générés par les opérations	4.3
		Maintenance	Produits et services achetés	4.5
	Soudeuses électriques	Electricité	Emissions indirectes liées à la consommation d'électricité	2.1
	Osmoseurs	Eau	Emissions indirectes liées à la consommation autre que l'électricité	2.2
		Electricité	Emissions indirectes liées à la consommation d'électricité	2.1
		Traitement des déchets	Déchets générés par les opérations	4.3
		Immobilisation	Immobilisation de biens	4.2
		Maintenance	Produits et services achetés	4.5
	Système de surveillance environnemental	Maintenance	Produits et services achetés	4.5
Fonctionnement de l'unité de stérilisation	Moyens humains	Déplacements domicile travail	Déplacements domicile travail	3.3
	Traitement des déchets	DAOM	Déchets générés par les opérations	4.3
		Eaux usées	Déchets générés par les opérations	4.3
	Fonctionnement de l'unité	Electricité	Emissions indirectes liées à la consommation d'électricité	2.1
		Eau	Emissions indirectes liées à la consommation autre que l'électricité	2.2
	Consommables	Achat de produits	Produits et services achetés	4.5
	Bionettoyage	Bionettoyage	Produits et services achetés	4.5
Transports	Réparation des équipements	Réparation des équipements	Produits et services achetés	4.5
	Transports internes (monte-charge)	Electricité	Emissions indirectes liées à la consommation d'électricité	2.1
	Transports externes lié au prestataire	Essence/diesel	Emissions directes des sources mobiles de combustion	1.2

Annexe B : Tableau comparatif entre les catégories et postes fixés entre le référentiel national, le bilan carbone® et le GHG Protocol issu du BEGES de juillet 2022 ⁽⁴³⁾

Catégorie	Poste	Poste	Scope	Catégorie
1. ÉMISSIONS DIRECTES DE GES	1.1 Emissions directes des sources fixes de combustion	Energie	Scope 1	Emissions directes des sources fixes de combustion
	1.2 Emissions directes des sources mobiles de combustion	Transport Déplacements		Emissions directes des sources mobiles de combustion
	1.3 Emissions directes des procédés hors énergie	Hors énergie		Emissions directes des procédés physiques ou chimiques
	1.4 Emissions directes fugitives	Hors énergie		Emissions directes fugitives
	1.5 Emissions issues de la biomasse (sols et forêts)	Inexistant		Information optionnelle
2. ÉMISSIONS INDIRECTES ASSOCIÉES À L'ÉNERGIE	2.1 Emissions indirectes liées à la consommation d'électricité	Energie	Scope 2	Emissions indirectes liées à la consommation d'électricité
	2.2 Emissions indirectes liées à la consommation d'énergie autre que l'électricité	Energie		Emissions indirectes liées à la consommation de vapeur, chaleur ou froid
3. ÉMISSIONS INDIRECTES ASSOCIÉES AU TRANSPORT	3.1 Transport de marchandise amont	Transport		4. Transport et distribution amont
	3.2 Transport de marchandise aval	Transport		9. Transport et distribution aval
	3.3 Déplacements domicile-travail	Déplacements		7. Déplacements domicile-travail des employés
	3.4 Déplacements des visiteurs et des clients	Déplacements		Inexistant
	3.5 Déplacements professionnels	Déplacements		6. Voyages professionnels
4. ÉMISSIONS INDIRECTES ASSOCIÉES AUX PRODUITS ACHETÉS	4.1 Achats de biens	Intrants	Scope 3	1. Produits et services achetés
	4.2 Immobilisations de biens	Immobilisations		3. Activités associées à l'énergie et aux combustibles
	4.3 Gestion des déchets	Déchets directs		2. Biens immobilisés
	4.4 Actifs en leasing amont	Dépend du type d'actif		5. Déchets générés par les opérations
	4.5 Achats de services	-		8. Actifs en leasing amont
5. ÉMISSIONS INDIRECTES ASSOCIÉES AUX PRODUITS VENDUS	5.1 Utilisation des produits vendus	Utilisation		1. Produits et services achetés
	5.2 Actifs en leasing aval	Dépend du type d'actif		11. Utilisation des produits vendus
	5.3 Fin de vie des produits vendus	Fin de vie		13. Actifs en leasing aval
	5.4 Investissements	Inexistant		12. Traitement de fin de vie des produits vendus
6. AUTRES ÉMISSIONS INDIRECTES	6.1 Autres émissions indirectes	Inexistant		15. Investissements
				Inexistant

Annexe C : Liste des facteurs d'émission utilisés dans notre étude.

CATEGORIE	FACTEUR D'EMISSION	VALEUR EN 2023	UNITE	SOURCE
TRANSPORT VEHICULE DIESEL MOYEN 2018	Fabrication	0,0256	kgCO2eq/km	Base Carbone (ADEME)
	Combustion	0,15	kgCO2eq/km	Base Carbone (ADEME)
	Amont	0,0365	kgCO2eq/km	Base Carbone (ADEME)
GAZ NATUREL	Gaz naturel - 2022 /mix moyen/consommation	0,216	kgeqCO2 / kWh PCS	Base Carbone (ADEME)
EAU	Eau potable, mix de provenance, Anzin	0,000626	kgCO2eq / kg	Base Carbone (ADEME)
ELECTRICITE	Electricité, mix réseau électrique, Anzin	0,052	kgCO2eq / kWh	Base Carbone (ADEME)
TRANSPORT MOTORISATION ESSENCE VOITURE PARC MOYEN	Amont	0,0358	kgCO2eq/km	Base Carbone (ADEME)
	Combustion	0,162	kgCO2eq/km	Base Carbone (ADEME)
	Fabrication	0,0256	kgCO2eq/km	Base Carbone (ADEME)
EAUX USEES	Postes fixes de combustion	0,017	kgCO2eq / m3	Base Carbone (ADEME)
	Electricité : réseaux, usines (EP et EU) et bâtiments tertiaires	0,058	kgCO2eq / m3	Base Carbone (ADEME)
	Véhicules particuliers, utilitaires, engins	0,032	kgCO2eq / m3	Base Carbone (ADEME)
	Process d'épuration (N2O et CH4)	0,012	kgCO2eq / m3	Base Carbone (ADEME)
	Rejets au milieu naturel (CH4 et N2O)	0,058	kgCO2eq / m3	Base Carbone (ADEME)
	Emissions de N2O liées à l'épandage des boues	0,028	kgCO2eq / m3	Base Carbone (ADEME)
	Refus de dégrillage, Graisse et sables	4,00E-03	kgCO2eq / m3	Base Carbone (ADEME)
	Réactifs consommés	0,053	kgCO2eq / m3	Base Carbone (ADEME)
ELIMINATION DES DAOM	DASND	0,36364	kgCO2eq / kg	Base Carbone (ADEME)
MAINTENANCE	Maintenance multiservices	0,215	kgCO2eq / euros	Base Carbone (ADEME)
SERVICE	Bionettoyage	0,0129	kgCO2eq / euros	Base Carbone (ADEME)
	Réparation et installation d'équipement	0,39	kgCO2eq / euros	Base Carbone (ADEME)
ACHATS DE BIENS	Gants nitrile	0,0235	kgCO2eq / gant	Société Ecovamed® (44)
	Charlottes	0,25	tonnes de CO2eq / tonnes de produit fini	Données fournisseur (46)
	Masques	0,03	kgCO2eq / masques	Analyse du cycle de vie, CIRAIG® (45)
	Feuille d'intissé SMSM en polypropylène	2000	kgCO2eq/tonne	Base Carbone (ADEME)
	Conteneur en aluminium anodisé	9827	kgCO2eq/tonne	Base Carbone (ADEME)
	Scellés en polypropylène pour conteneurs	2000	kgCO2eq/tonne	Base Carbone (ADEME)
	Filtres papier pour conteneurs	1300	kgCO2eq/tonne	Base Carbone (ADEME)
	Filmeuse plastique pour intissés	3280	kgCO2eq/tonne	Base Carbone (ADEME)
	Ruban adhésif papier pour intissés	1320	kgCO2eq/tonne	Base Carbone (ADEME)
MAINTENANCE	Machine et équipement	700	KgCO2eq / keuros	Base Carbone (ADEME)

Annexe D : Grille de satisfaction permettant l'évaluation de la qualité de vie et des conditions de travail à destination du personnel de l'unité de stérilisation.



- Grille de Satisfaction -

Évaluation de la Qualité de Vie et des Conditions de Travail

Qualité : (Administratif, Encadrement, Production) _____

Date : _____

Pour chaque question, cochez la réponse qui correspond le mieux à votre expérience :

Question	Toujours / Oui	Souvent	Parfois	Jamais / Non
Avez-vous suffisamment de temps pour accomplir correctement vos tâches ?				
Avez-vous l'impression d'être en surcharge de travail (physique ou mental) ?				
Êtes-vous satisfait des actions de la santé du travail ?				
Avez-vous un accès facile aux services médicaux lorsque vous en avez besoin ?				
Ressentez-vous une pression excessive liée à votre travail ?				
Y a-t-il des signes de stress ou de burnout entre les collègues ?				
Ressentez-vous des douleurs physiques liées à votre poste ?				
Les équipements sont-ils fonctionnels et sécurisés ?				
Êtes-vous satisfait de la propreté des espaces de travail dans l'unité de stérilisation ?				
Les produits de nettoyage et les outils sont-ils adaptés et disponibles pour garantir un environnement de travail hygiénique ?				

Question	Toujours / Oui	Souvent	Parfois	Jamais / Non
Les tâches à effectuer sont-elles clairement définies ?				
Le travail est-il bien réparti entre les membres de l'équipe ?				
Votre avis est-il pris en compte dans l'organisation du travail ?				
Etes-vous capable de prendre des initiatives dans votre poste ?				
Avez-vous accès à des formations pour développer vos compétences ?				
Vous avez des perspectives d'évolution professionnelle au sein de l'unité de stérilisation ?				
Existe-t-il des actions pour promouvoir la bonne entente dans l'équipe ?				
Les collègues s'entraident-ils régulièrement dans le cadre de leur travail ?				
Le climat de confiance est-il suffisant entre l'équipe et la hiérarchie ?				
Les communications avec la hiérarchie sont-elles claires et efficaces ?				
Recevez-vous suffisamment d'informations sur les projets de l'unité ?				
Y a-t-il une vision claire de l'évolution future de l'unité et de l'évolution de vos responsabilités ?				
Les responsables sont-ils facilement accessibles pour répondre à vos questions ou préoccupations ?				
Vous sentez-vous valorisé pour le travail que vous accomplissez dans l'unité de stérilisation ?				

DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR EN PHARMACIE

Année Universitaire 2024/2025

Nom : HAY

Prénom : VALENTIN

Titre de la thèse : STRATEGIE D'AMELIORATION DURABLE D'UNE UNITE DE STERILISATION

Mots-clés : Développement durable, Stérilisation, Empreinte carbone

Résumé :

Face à une sensibilisation croissante aux enjeux environnementaux et à la nécessité de réduire l'empreinte écologique du secteur de la santé, cette étude évalue les impacts écologiques, économiques et sociétaux d'une unité de stérilisation. Elle porte notamment sur le bilan carbone, les émissions toxiques et la consommation d'eau et d'électricité. Le bilan carbone met en évidence la forte contribution du gaz naturel responsable de près de la moitié des émissions de gaz à effet de serre. L'analyse des émissions toxiques relève l'importance des impacts chimiques du peroxyde d'hydrogène et des ammoniums quaternaires. L'étude examine également les innovations technologiques proposées par les industriels pour optimiser les consommations énergétiques. Les actions mises en place permettent de réduire considérablement l'empreinte écologique en modifiant les équipements et les pratiques. Cette démarche illustre la possibilité d'allier performance hospitalière et développement durable.

Membres du jury :

Président de jury : Décaudin Bertrand, Pharmacien PU-PH – CHU de Lille

Maître de thèse : Inghels Yves, Pharmacien PH – CH de Valenciennes

Assesseeur : Masse Morgane, Pharmacien MCU-PH – CHU de Lille

Assesseeur : Radoubé Fanny, Pharmacien PH – CH de Valenciennes