

UNIVERSITÉ DE LILLE

FACULTÉ DE MÉDECINE HENRI WAREMBOURG

Année : 2021

THÈSE POUR LE DIPLÔME D'ÉTAT
DE DOCTEUR EN MÉDECINE

Injections intravitréennes et développement durable

Présentée et soutenue publiquement le vendredi 17 septembre à 18h00

au Pôle Recherche

par Gabin MOMAL

JURY

Président :

Monsieur le Professeur Jean-François ROULAND

Assesseurs :

Madame le Professeur Isabelle COCHEREAU

Monsieur le Professeur Pierre LABALETTE

Directeur de thèse :

Monsieur le Docteur Valentin BACHET

Avertissement

La Faculté n'entend donner aucune approbation aux opinions émises dans les thèses : celles-ci sont propres à leurs auteurs.

Liste des abréviations

AAO	<i>American Academy of Ophthalmology</i>
ACV	Analyse de cycle de vie
AMM	Autorisation de mise sur le marché
ARS	Agence Régionale de Santé
ADEME	Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie
ASCRS	<i>American society of Cataract and Refractive Surgery</i>
CPIAS	Centre de prévention des infections associées aux soins
CSP	Code de la santé publique
C2DS	Comité de Développement Durable en Santé
DALYs	<i>Disability Adjusted Life Years</i> . La somme des années de vie potentiellement perdues prématurément.
DASAOM	Déchets d'activités de soins assimilables aux ordures ménagères
DASRI	Déchets d'activités de soins à risque infectieux
DAS	Déchets d'activité de soins
DD	Développement durable
DM	Dispositifs médicaux
GERS	Groupement pour l'élaboration et la réalisation de statistiques
GES	Gaz à Effet de Serre
GHG	<i>Green House Gas</i>
GWP	<i>Global Warming Potential</i>
HAS	Haute autorité de santé
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>

ISO	Organisation internationale de normalisation
IUSS	<i>Immediate Use Sterile Supplies</i>
JORF	Journal Officiel de la République Française
kg	Kilogrammes
km	Kilometres
kWh	Kilowatt-heure
NHS	<i>National Health services</i> (système de santé national Anglais)
N2O	Protoxyde d'azote
OICS	<i>Ophthalmology Instrument and Cleaning Sterilization</i>
ONU	Organisation des Nations Unies
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
PET	Polyéthylène téréphtalate
RIC	<i>Resin Identification Code</i>
UU	Usage Unique
VEGF	<i>Vascular Endothelial Growth Factor</i>
WHO	<i>World Health Organization</i> (voir OMS)
ZEM	Zones à Environnement Maitrisé

Sommaire

Avertissement.....	2
Liste des abréviations.....	3
Sommaire	5
1 Introduction.....	8
1.1 Développement durable et santé	9
1.1.1 Le changement climatique	9
1.1.1.1 Généralités	9
1.1.1.2 Impact environnemental du système de santé	19
1.1.2 Le développement durable en santé	34
1.1.2.1 Définition du développement durable	34
1.1.2.2 Le cadre réglementaire.....	34
1.1.2.3 Les études d'impact environnemental	37
1.1.2.4 Recommandations de bonnes pratiques	43
1.1.2.5 L'éco-conception des soins	45
1.1.2.6 L'économie circulaire.....	60
1.1.2.7 La problématique de l'usage unique.....	63
1.1.2.8 La problématique des déchets.....	69
1.1.3 Injections intravitréennes et développement durable	84
1.1.3.1 Généralités	84
1.1.3.2 Rationnel de cette étude.....	87
1.1.4 Objectifs	89
2 Matériel et méthodes.....	90
2.1 Type d'étude	90
2.2 Analyse de cycle de vie	91
2.2.1 Unité fonctionnelle et flux de références	91
2.2.2 Périmètre, règles de coupures et règles d'allocation.....	92
2.2.2.1 Périmètre	92
2.2.2.2 Règles de coupures.....	94
2.2.2.3 Règles d'allocation.....	95
2.2.3 Collecte des données.....	96
2.2.3.1 Données sur le transport	97
2.2.3.2 Données sur la consommation d'Energie	97

2.2.3.3	Données sur l’approvisionnement.....	99
2.2.3.4	Données et audit des déchets	101
2.2.3.5	Hypothèses.....	102
2.2.4	Modélisation des inventaires de cycle de vie	103
2.2.4.1	Schémas de flux	104
2.2.4.2	Inventaire de cycle de vie du transport patient	109
2.2.4.3	Inventaire de cycle de vie de la consommation en Energie	109
2.2.4.4	Inventaire de cycle de vie de l’approvisionnement	109
2.2.5	Evaluation des impacts	111
	Le changement climatique :.....	112
2.3	Analyse statistique.....	116
2.3.1	Analyse de cycle de vie.....	116
2.3.2	Audit des déchets.....	116
2.4	Cadre réglementaire	116
3	Résultats	117
3.1	Résultats de l’analyse de cycle de vie	117
3.1.1	Données brutes.....	117
3.1.2	Statistiques descriptives.....	122
3.1.2.1	Impacts environnementaux en fonction du périmètre d’étude	122
3.1.2.2	Focus sur la partie énergie et consommables	124
3.1.2.3	Focus sur le transport des consommables à l’Institut Ophtalmique de Somain	132
3.2	Résultats de l’audit des déchets	134
3.2.1	Données brutes.....	134
3.2.2	Statistiques descriptives.....	134
4	Discussion	139
4.1	Principaux résultats	139
4.1.1	Impacts environnementaux d’une injection intravitréenne.....	139
4.1.1.1	Analyse de cycle de vie	139
4.1.1.2	Audit des déchets	141
4.2	Discussion des résultats	142
4.2.1	Comparaison des résultats avec les données de la littérature	142
4.2.1.1	Analyse de cycle de vie	142
4.2.1.2	Audit des déchets	146
4.2.2	Extrapolation des résultats	147

4.2.2.1	Analyse de cycle de vie	147
4.2.2.2	Audit des déchets	148
4.3	Discussion de la méthode.....	151
4.3.1	Choix de la méthode	151
4.3.2	Points forts de la méthode.....	154
4.3.3	Points faibles de la méthode	155
4.4	Pistes d'amélioration des pratiques	158
4.4.1	Sensibiliser les équipes et mener un travail avec les acteurs des déchets 159	
4.4.2	Faire le tri dans les pratiques :	163
4.4.3	Un travail à mener avec l'Industrie	168
4.4.4	Un travail à mener avec les professionnels du transport.....	171
4.4.5	Intégrer des critères de développement durable lors des procédures d'achats.....	171
4.4.6	Développer la réflexion environnementale dans les structures de soins	173
4.4.7	Poursuivre la Recherche	178
4.4.8	Un exemple concret d'éco-conception des soins et d'économie circulaire : la création d'un pack sur mesure réutilisable pour réaliser les IVT	180
4.4.8.1	Composition du pack IVT sur mesure réutilisable.....	180
4.4.8.2	Listing des autres étapes et instruments nécessaires au déroulement d'une IVT	181
4.4.8.3	Impact environnemental d'une IVT écoconçue	183
5	Conclusion.....	190
	Citations.....	191
	Liste des tableaux.....	192
	Liste des figures	193
	Références	196
	Annexes.....	204

1 Introduction

Le changement climatique en cours et à venir est un des principaux défis à relever pour l'Humanité. Certains auteurs le perçoivent comme la plus grosse menace à la santé publique du XXIème siècle.[1]

A l'échelle mondiale, la prestation de services de santé génère des émissions de gaz à effet de serre considérables, dont l'effet sur le changement climatique n'est pas négligeable.[2] La part croissante du matériel à usage unique a également pour conséquence l'augmentation de la consommation de ressources et l'augmentation des déchets.

La détermination de l'impact environnemental d'actes médicaux permet d'attirer l'attention des différents acteurs (équipes médicales et paramédicales, industriels, décideurs) sur l'impact des activités de soins et permet d'identifier des opportunités de réduction ciblées. Nous remarquons la multiplication de ce type d'études ces dernières années, preuve d'une prise de conscience grandissante de la communauté médicale concernant ce thème du développement durable.[3],[4],[5],[6],[7],[8],[9]

En ophtalmologie la chirurgie de la cataracte et la chirurgie du glaucome ont déjà bénéficié d'études d'impact environnemental.[3],[4],[5],[6]

Concernant les injections intravitréenne aucune étude n'a été retrouvée dans la littérature scientifique. Il nous a donc paru pertinent de déterminer l'impact environnemental de cet acte de la façon la plus rigoureuse possible.

Ce travail ne s'est pas limité à une constatation, mais a également eu pour objectif de réfléchir à des opportunités et des applications pratiques de réduction d'impact à court, moyen et long terme.

Un aperçu des principaux résultats des études d'impact environnemental dans le secteur de la santé et les principaux concepts du développement durable sont également développés en Introduction.

1.1 Développement durable et santé

1.1.1 Le changement climatique

1.1.1.1 Généralités

1.1.1.1.1 Concepts

1.1.1.1.1.1 Le réchauffement climatique

Le changement climatique d'origine humaine, ou réchauffement climatique, est causé par le rejet de différents types de gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Le principal étant le dioxyde de carbone (CO₂), il est émis chaque fois que nous brûlons des combustibles fossiles. Mais d'autres gaz ont un effet de serre plus puissant. Le méthane (CH₄), principalement émis par l'agriculture et les décharges, est 25 fois plus puissant par kilogramme que le CO₂. Le protoxyde d'azote (N₂O), principalement émis par les processus industriels et l'agriculture est environ 300 fois plus puissant que le CO₂. Les gaz réfrigérants, émis dans des quantités moindres sont des milliers de fois plus puissants que le CO₂. Depuis les années 1960, les effets de ces autres gaz à effet de serre -principalement le méthane (CH₄), le protoxyde d'azote (N₂O), l'ozone (O₃) et les composés halogénés- ont contribué autant au réchauffement climatique que l'augmentation du dioxyde de carbone (CO₂) lui-même.[10]

Pour Paul J. Crutzen et d'autres géologues on parle d'« Anthropocène », l' «ère de l'homme» pour définir la nouvelle ère géologique dans laquelle nous sommes entrée, caractérisée par les signes visibles de l'influence de l'être humain sur son environnement.[1]

1.1.1.1.1.2 L'empreinte carbone

L'empreinte carbone est une expression souvent employée, il vaut donc la peine de préciser exactement ce que cela signifie. Quand on parle de changement climatique, « l'empreinte » est une métaphore de l'impact total de quelque chose. Et le carbone est un raccourci pour tous les différents gaz à effet de serre qui contribuent au réchauffement climatique. Le terme « empreinte carbone », par conséquent, est un raccourci pour décrire la meilleure estimation que nous pouvons obtenir de l'impact total de quelque chose sur le changement climatique. Ce quelque chose peut être n'importe quoi - une activité, un article, un style de vie, une entreprise, un pays ou même le monde entier.[11]



Figure 1 "Footprint carved in wood", oeuvre de Reinhard Krause

1.1.1.1.2 L'énergie, principe indissociable du réchauffement climatique [12]

Il est intéressant d'approcher avec un angle différent la notion d'énergie et de faire un rapprochement avec les activités humaines et cette Energie pour comprendre la problématique du changement climatique.

A la création de la Terre il y avait énormément d'énergie, sous forme de roche en fusion. L'énergie repartait dans l'espace sous forme de chaleur car rien ne la retenait.

Petit à petit la vapeur d'eau créée par cette masse en fusion a produit une enveloppe de gaz autour de la Terre, son atmosphère. Elle laisse entrer le rayonnement infrarouge du soleil qui chauffe la planète et emprisonne la chaleur comme le fait une serre. Ces conditions sont nécessaires à la vie, sans cet effet de serre naturel la température moyenne sur Terre serait de -50°C . L'« effet de serre » est donc une condition indispensable à la Vie sur Terre.

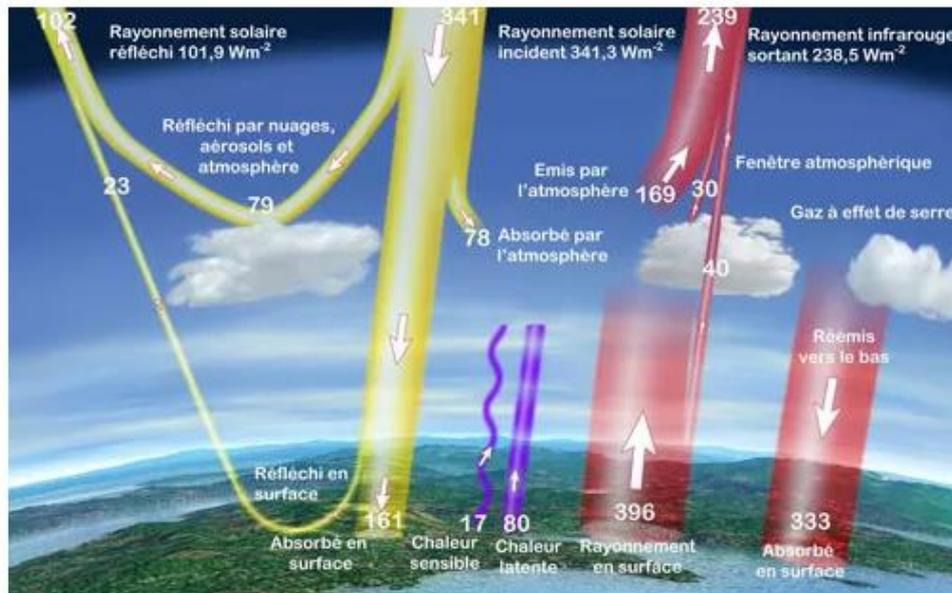


Figure 2 Les différentes composantes de l'Effet de serre d'après Météo-France[13]

L'énergie est un élément permettant aux être vivant de fonctionner, de se développer, de se déplacer. Les êtres vivants sont devenus des experts en exploitation de l'énergie. Les plantes et les arbres exploitent l'énergie du soleil via la photosynthèse et la transforme en matière végétale en puisant le carbone de l'air tout en relâchant de l'oxygène qui pourra être exploité par les autres êtres vivants. Les végétaux peuvent donc être considérés comme des centrales énergétiques solaires. En mourant ils emportent avec eux cette énergie stockée.

Les êtres vivants dénués de photosynthèses récupèrent cette énergie en mangeant les plantes ou en mangeant des mangeurs de plantes. Ils récupèrent donc l'énergie solaire stockée sous forme de matière dans les êtres vivants. L'énergie circule donc d'une espèce à une autre.

L'Homme a donc à l'instar des autres espèces dû trouver de l'énergie pour perdurer dans le temps. Il a deux principales qualités à son avantage : son intelligence et son esprit de coopération. L'être Humain en maîtrisant l'énergie a pu se développer en se déjouant des contraintes de la nature (intempéries, ennemis naturels et exploitation des ressources). L'Homme a domestiqué des animaux sauvages pour bénéficier de leur énergie. L'agriculture lui a permis d'exploiter l'énergie stockée dans les plantes et l'élevage celle stockée dans les animaux. L'Homme réussi à dompter l'énergie du feu lui permettant de créer des métaux qui lui ont à leur tour permis de creuser la Terre à la recherche d'énergie enfouie.

Il y a 150 ans l'Homme a réussi à exploiter massivement de nouvelles formes d'énergies condensées et disponibles de façon illimitées, marquant une nette rupture technologique : l'exploitation du charbon puis du pétrole : la « Révolution industrielle ». S'en suit une exploitation de l'Énergie à grande échelle ;150 ans sur 3,4 milliards d'années d'Histoire de la Terre. Si l'on résume l'Histoire de la Terre à une durée de 24h cela nous place à 5 micro secondes de minuit. L'Homme creuse ainsi la Terre pour récupérer le charbon, le pétrole et le gaz. Ces Energies fossiles proviennent de la décomposition de végétaux morts depuis des millions d'années, d'où leur nom. L'Homme exploite donc l'énergie solaire stockée pendant des millions d'années par des milliards d'animaux et de végétaux en décomposition dans le sol. Il a donc réussi à exploiter une énergie incroyablement concentrée. Grâce au pétrole les humains peuvent travailler des matériaux comme le béton, le plastique et pouvoir construire bien plus et inventer des machines. Le pétrole fut la « potion magique » qui a permis une transition sociétale majeure notamment grâce à « l'explosion » des rendements énergétiques et agricoles. Dans ce domaine le pétrole a permis de faire fonctionner des machines, améliorer les systèmes d'irrigation, fabriquer des engrais et des pesticides. C'est ce qu'on appelle la « Révolution verte ». La mécanisation a également permis d'exploiter les matières premières de façon industrielle et de les rendre disponibles partout sur la planète.

Il a été calculé qu'un litre de pétrole représente l'équivalent énergétique du travail de 100 personnes pendant toute une journée.[14] Un baril de pétrole équivaut à 24000 heures de travail humain, soit 11 années à 40h par semaines.[14] La production de pétrole dépasse aujourd'hui les 15 milliards de litre par jour, l'équivalent de la force physique de plus de 200 fois les habitants de la planète.[14]

Le pétrole a également permis des innovations médicales majeures et participe aussi à l'amélioration de la santé des populations.

La formidable Histoire du succès humain commence cependant à induire des dérèglements sur la planète. Aujourd'hui les scientifiques s'accordent sur le fait que la planète est confrontée à une crise climatique et que cette dernière est liée aux activités humaines. Tous les avantages que nous ont apportés le pétrole se sont accompagnés d'un prix terrible. En brûlant, ils rejettent des gaz à effet de serre dans l'atmosphère, qui augmentent la température Terrestre. Cet effet de serre, phénomène naturel qui a permis à la Terre de se réchauffer suffisamment pour développer la Vie est maintenant trop important.

Le charbon qui est la source d'énergie la plus polluante reste la principale source de production d'électricité dans le monde.

1.1.1.1.3 Les projections [12]

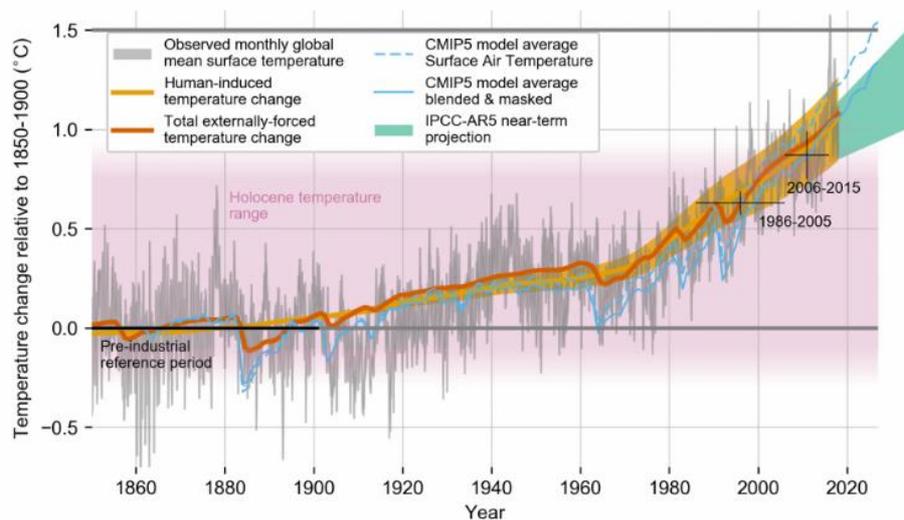


Figure 3 Changement de la température terrestre relatif aux activités humaines en comparaison avec la période préindustrielle d'après le rapport de l'Intergovernmental Panel on Climate Change [15]

Depuis la révolution Industrielle il y a 150 ans la température mondiale moyenne a augmenté de 1°C et même de 3°C au niveau des pôles.

La planète se réchauffe trop et trop vite. A l'échelle mondiale, les six dernières années ont été les plus chaudes jamais relevées. En 2014, dans le désert de Lout, en Iran, des chercheurs français ont relevé 61°C à l'ombre, un inquiétant record du monde. Un rouleau compresseur est en marche, et il risque de bouleverser le mode de vie des habitants de la plus grande partie du globe.

Les pôles contiennent une grande quantité d'eau sous forme de glace. La fonte de ces glaces aux pôles, facilement observable, est le meilleur reflet du réchauffement climatique. C'est un signal d'alarme !

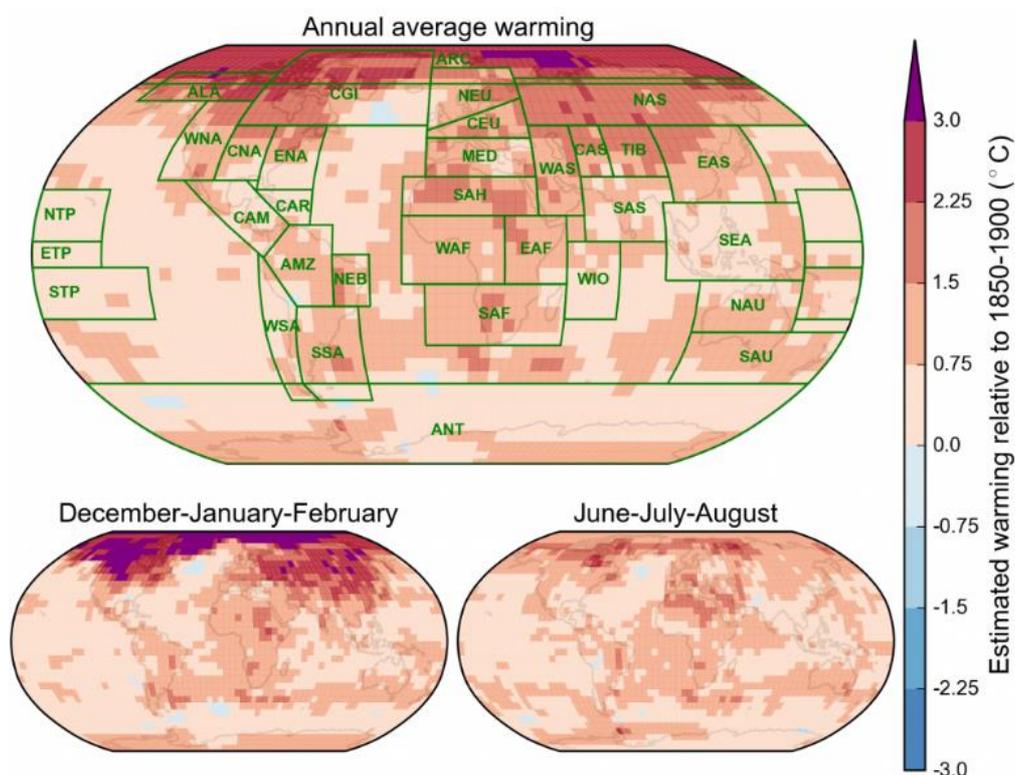


Figure 4 Réchauffement climatique régional durant la période 2006-2015 par rapport à la période préindustrielle d'après le rapport de l'Intergovernmental Panel on Climate Change[15]

Or les pôles jouent un rôle essentiel dans la régulation du climat de la planète et risquent de le déstabiliser. (Par exemple les scientifiques estiment que si le Groenland venait à fondre le niveau de la mer s'élèverait de 6 mètres, si l'Antarctique fondait le niveau s'élèverait de 60 mètres, redessinant les côtes).

Le magazine *National Geographic* a publié en 2013 des cartes représentant le Monde tel qu'il pourrait être avec la montée des eaux en cas de fonte totale des glaces, soit une élévation du niveau de la mer d'environ 65 mètres (processus qui prendrait 5000 ans selon les estimations).[16] Pour effectuer cette simulation, les scientifiques se sont notamment appuyés sur leurs connaissances de l'Eocène, une époque du Paléogène qui s'étend d'il y a 56 à 34 millions d'années. Au cours de cette période les scientifiques ont rapporté une très forte montée des températures ayant entraîné la fonte intégrale des glaces sur la planète. Avec une élévation du niveau de la Mer de 65 mètres la majeure partie de l'Europe serait sous les eaux : Londres, Venise et toute la façade Atlantique disparaîtraient. Les Pays-Bas et le Danemark seraient également complètement engloutis. A l'est de l'Asie, une partie de la Chine, du Bangladesh et du littoral indien, représentant environ 760 millions d'habitants, serait complètement inondée.



Figure 5 Prédiction de la montée des eaux en Europe en cas de fonte totale des glaces terrestre d'après les estimations du National Geographic Journal[16]



Figure 6 Prédiction de la montée des eaux en Asie en cas de fonte totale des glaces terrestre d'après les estimations du National Geographic Journal[16]

Si le réchauffement climatique se poursuit à ce rythme, il risque de précipiter des phénomènes en chaîne dont l'un d'eux est, par exemple, la fonte du Permafrost (le sol gelé toute l'année sur plusieurs mètres de profondeur) qui s'étend sur 1/5 des terres émergées de la planète du Canada à la Sibérie et qui a piégé des quantités incalculables de méthane.

La crise climatique n'est pas seulement un réchauffement global, on pourrait l'appeler le « dérèglement climatique ». En écho à la célèbre formule du chimiste français Antoine Lavoisier « rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme », nous pourrions voir toute cette énergie émise dans l'atmosphère sous forme de gaz à effet de serre qui nous est renvoyé sous la forme d'éléments naturels avec des incendies, des tempêtes, des ouragans, des cyclones, des canicules, des sécheresses, des inondations qui risquent d'être à l'avenir plus forts et plus fréquents.

Des scientifiques à l'instar de Will Steffen prédisent que si un point de bascule est atteint, aucun retour en arrière ne sera possible[17].

Si nous n'agissons pas, dans un demi-siècle, un tiers de la population mondiale pourrait habiter dans des lieux similaires au Sahara actuel, où la température maximale moyenne dépasse 40°C en été. Deux milliards de personnes seront confrontées à un choix difficile : migrer vers des climats plus froids, ou rester et s'adapter.

Le rapport de l'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) a conclu que nous avons moins de 10 ans pour réduire considérablement nos émissions de GES pour limiter le réchauffement climatique à une augmentation de 1,5°C de la température terrestre moyenne et limiter les catastrophes de santé publique liées au changement climatique.[18]

Cette perspective n'est pas inéluctable. Nous avons la possibilité de l'enrayant en « décarbonant » nos activités, en diminuant notre consommation de charbon, de pétrole et de gaz. Nous consommons au quotidien beaucoup de pétrole, et nous émettons beaucoup de carbone. La Santé n'est pas exempte de cette réflexion puisqu'elle utilise de l'Energie et des consommables participant aux émissions de gaz à effet de serre.

L'accélération de la menace du changement climatique a déclenché une réponse mondiale avec l'adoption en 2015 par l'ONU, lors de la COP21, des Accord de Paris signés par 175 pays. Il s'agit du premier accord universel de lutte contre le réchauffement climatique visant à contenir le réchauffement terrestre en diminuant les émissions de gaz à effet de serre. Un de ses objectifs concerne le maintien d'une augmentation de la température mondiale nettement en dessous de 2°C d'ici 2100 par rapport aux niveaux préindustriels et une limitation de cette augmentation à 1,5°C pour parvenir à zéro émission nette d'ici la fin du siècle. Selon les scientifiques, pour respecter les accords de Paris sur le climat, il suffirait de réduire de 5% les consommations d'Energie fossile par an.

Le changement climatique est le challenge de l'humanité. L'effet est global mais l'action doit être locale.

1.1.1.1.4 Un enjeu de santé publique

Le changement climatique a déjà un impact sur la santé publique en étant responsable de l'augmentation de la fréquence et de la sévérité des inondations et des sécheresses, une plus grande insécurité alimentaire et une augmentation des vecteurs de maladies infectieuses comme les moustiques et les tiques.[19]

Une large proportion de ces impacts retombe sur les pays en développement. Les conditions économiques et environnementales y rendent difficiles la minimisation des effets du changement climatique. De plus la production de matériel et le traitement des déchets entraînent des émissions de particules fines, de métaux lourds et de composés toxiques qui dégradent la qualité de l'air, des aliments et de l'eau et affectent la santé des populations. Ces dernières risquent d'avoir de plus en plus de difficultés à s'approvisionner en eau et en nourriture. Les événements climatiques extrêmes vont également avoir pour conséquence la destruction des logements. L'ensemble de ces facteurs risquent d'aboutir à d'importants phénomènes de déplacements et migration de population.[20]

L'OMS estime que chaque année 150000 décès dans le monde sont imputables au changement climatique.[21]

Selon le rapport annuel du *Lancet Count-down*, tout enfant né en 2019 aura à subir les effets du changement climatique sur sa santé.[22]

« S'attaquer au changement climatique pourrait être la meilleure opportunité de santé publique du 21^{ème} siècle ». [23] Ceci est le message central de la seconde commission du Lancet de 2015 sur la santé et le changement climatique qui tente de répondre à la conclusion de la première commission publiée en 2009 qui stipulait déjà que « le changement climatique était la plus grosse menace à la santé publique au 21^{ème} siècle ». [24]

Lorsque le changement climatique est vu comme un problème de santé publique plutôt qu'un problème purement environnemental, économique ou technique il apparaît plus clair que l'humanité fait face à un problème essentiel qui aura des conséquences sur son avenir. Les scientifiques s'efforcent pour que les pouvoirs publics en prennent conscience et que cette menace qui semble encore distante acquière une plus grande résonance politique. Ainsi les problèmes à venir d'insécurité alimentaire, de

malnutrition, de destruction d'habitat engendrant des mouvements importants de population auront peut-être plus de portée que des valeurs d'émissions de dioxyde de carbone. L'ONU estime que la crise climatique va entraîner des sécheresses, des famines et même des guerres dans les pays pauvres qui toucheront les pays riches par ricochet. La commission alerte sur le fait qu'il existe un manque de prise de conscience global du changement climatique vu comme un problème de santé publique. Elle stipule que les professionnels de santé ont un rôle vital à jouer pour limiter les impacts sur la santé du changement climatique.

1.1.1.2 Impact environnemental du système de santé

1.1.1.2.1 Impact environnemental des systèmes de santé nationaux

1.1.1.2.1.1 Généralités

Un des principes fondamentaux de la pratique médicale dérivée des principes d'Hippocrate est « Primum Non Nocere » qui signifie « en premier, ne pas nuire ». Il est donc tout à fait intéressant de voir la Médecine moderne comme une source de pollution significative et qui par conséquent est responsable d'effets secondaires sur la santé publique.

Le rapport annuel de 2013 de l'institut de Médecine sur les liens entre le système de santé et l'environnement suggère que « le secteur de la santé devrait montrer l'exemple en se verdissant lui-même et en réduisant son empreinte carbone... pour améliorer la santé globale de la population et la santé de la planète »[25].

Il est établi que les émissions résultants du système de santé ont de façon directe et indirecte un impact sur la santé publique notamment à causes des problèmes respiratoires, du réchauffement et du changement climatique.[2],[8],[9]

De plus les déchets générés par le système de santé sont très importants. DiConsiglio et al. rapportent qu'il s'agit de la 2^{ème} source de production de déchets derrière l'industrie alimentaire aux Etats-Unis.[26] Ils notent également que la production de

déchets continue de croître à un rythme de 15% par an depuis 1992 aux Etats-Unis, en partie à cause de la tendance à de plus en plus d'utilisation d'usage unique.

La plus grande partie des émissions environnementales générées par les soins de santé sont indirectes et se trouvent intégrées dans la fabrication des instruments, consommables, médicaments ou matériel médical et dans l'Energie consommée par les établissements de santé pour leur fonctionnement.[27]

Il n'existe malheureusement pas d'étude Française sur le sujet. Mais nous allons prendre l'exemple d'études qui ont été faites sur le système de santé Américain et Anglais.

1.1.1.2.1.1.1 Le système de santé Américain

Aux Etats-Unis le secteur de la santé est responsable d'environ 10% des émissions de gaz à effet de serre du pays[2]. Une étude menée par Eckelman et al. a cherché à déterminer les émissions directes et indirectes attribuables au système de santé Américain et ses potentiels effets néfastes sur la santé publique.[2]

Les auteurs se sont basés sur les données de dépenses de santé du pays, ils ont utilisé un modèle d'analyse de cycle de vie de type *Economic input-output life cycle assessment (EIO-LCA)*. Il s'agit d'un modèle d'analyse de cycle de vie qui détermine les émissions environnementales, ici en l'occurrence d'un système de santé, en fonction de la valeur monétaire dépensée. Il se base sur les flux entre les différents secteurs économiques impliqués. C'est-à-dire qu'il repose sur une empreinte environnementale attribuée à une valeur monétaire dépensée dans le système de santé.

Ils ont déterminé qu'en 2013, le secteur de la santé - à travers les émissions directes des activités de soins (46%) et les émissions indirectes associées aux chaînes d'approvisionnement (54%) - était responsable d'une fraction significative des émissions de polluants atmosphériques du pays. Ils rapportent que le système de santé américain est à l'origine de 12% des pluies acides du pays, de l'émission de 10% des gaz à effet de serre, de 10% de l'ozone atmosphérique, de 1 à 2% des particules toxiques cancérigènes et non cancérigènes.

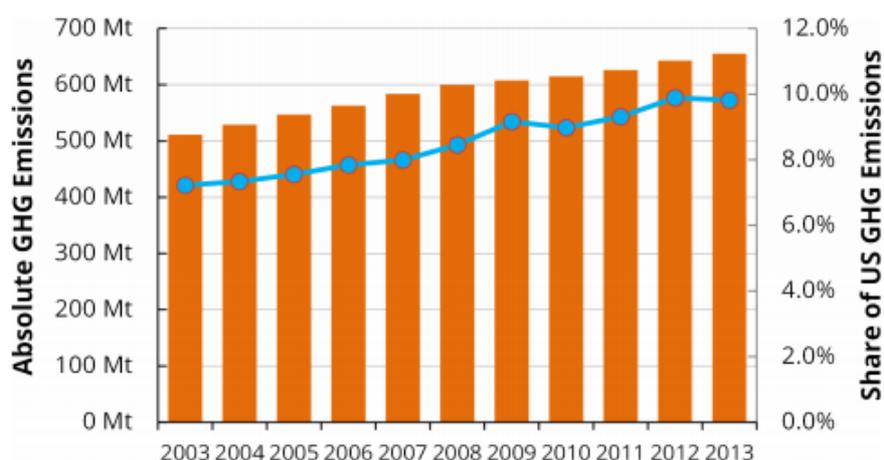


Figure 7 Emissions de GHS du système de santé américain en valeur absolue et en % des émissions totales de GHS du pays sur la période 2003 à 2013 d'après Eckelman et al.[2]

Les répercussions en termes de santé publique de ces pollutions sont estimées à plus de 470000 années de vie ajustée en fonction de l'invalidité (*DALYs*). Soit la somme des années de vie prématurément perdues à causes de maladies liées à la pollution à l'échelle du pays. Ils sont de la même magnitude que les décès dus à des erreurs médicales évitables aux Etats-Unis[28].

Les auteurs suggèrent que des efforts pour améliorer la performance environnementale du système de santé pourrait réduire les dépenses directement à travers la réduction des déchets et les économies d'Énergie et indirectement à travers la diminution des conséquences de ces pollutions sur la santé publique. Ils en déduisent donc que le système de santé est une cible importante de réduction des émissions polluantes. Les hôpitaux sont à la seconde place des bâtiments consommant le plus d'énergie aux Etats-Unis derrière les services alimentaires. Ils soulignent également le fait que le secteur de la santé est interconnecté avec des activités industrielles qui rejettent beaucoup de polluants dans l'air, l'eau et les sols.

1.1.1.2.1.1.2 Le système de santé Anglais

Une étude anglaise a montré que le *National Health Service (NHS)* était responsable de 5% des émissions de gaz à effet de serre du Royaume-Uni.[29]

Cette étude a inclus les émissions d'Énergie de fonctionnement des bâtiments ; les trajets sur les sites et entre les sites de même que le matériel médical et les services achetés par le NHS. Ils ont réalisé une étude couvrant les 3 cadres du *Green House Gaz Protocol (GHG Protocol)*.[30]

La répartition des émissions de gaz à effet de serre se répartit de la sorte : 57% sont inclus dans les produits et services acheté par le *NHS* (cadre 3), 15% dans l'énergie nécessaire à faire fonctionner les bâtiments (le chauffage, l'éclairage, la climatisation) (cadre 2), 13 % dans les transports vers et depuis les sites par le personnel et les patients (cadre 1) et 15% commissionné en dehors du secteur publique.

Tableau 1 Répartition des émissions de GHS au sein du NHS Anglais d'après le rapport sur l'empreinte carbone du NHS[29]

Category	Carbon emissions breakdown	2012 (MtCO ₂ e)	%
Building energy		4.8	15%
Travel		4.2	13%
Commissioned health and care services from outside system		4.7	15%
Procurement of goods and services	Pharmaceuticals	5.2	16%
	Medical Instruments /equipment	2.9	9%
	Business services	2.8	9%
	Food and catering	1.8	6%
	Manufactured fuels, chemicals and gases	1.3	4%
	Freight transport	1.0	3%
	Paper products	0.9	3%
	Construction	0.8	2%
	Other manufactured products	0.7	2%
	Waste products and recycling	0.5	2%
	Information and communication technologies	0.5	2%
Water and sanitation		0.2	1%
Total Procurement		18.6	57%
NHS, Public Health and Social Care system		32.4	100%

Nous noterons que nous retrouvons ici la prépondérance des achats de matériel et de service au sein des émissions de gaz à effet de serre. La répartition des résultats par cadre sur une étude à grande échelle se retrouve également dans les études plus spécifiques à différents actes médicaux.

Une donnée intéressante de cette étude est appelée l'intensité carbone par livre dépensée dans le système de santé qui est de 250 grammes de CO₂e/£ dépensée en 2012 au Royaume-Uni. Cette donnée pourrait permettre de comparer l'efficacité carbone des différents systèmes de santé mondiaux.

Bien que ces estimations de données nationales soient très intéressantes pour situer la part du système de santé dans les émissions globales d'un pays, les stratégies de réduction doivent également être développées à une plus petite échelle où les leviers d'actions peuvent être identifiés.

1.1.1.2.2 Impact de la chirurgie

1.1.1.2.2.1 Généralités

Les actes chirurgicaux sont un des premiers facteurs d'émissions polluantes du système de santé.

Depuis des années des études objectivent que dans les pays développés les blocs opératoires en général utilisent des quantités importantes de ressources, avec une grande consommation d'énergie, une importante consommation d'instruments à usage unique. Ils génèrent également une grande quantité de déchets.[3],[7]

Les études s'accordent pour dire que les blocs opératoires sont responsables de 20 à 30% des déchets hospitaliers.[31] Il est important de noter que 80% des déchets solides issus d'une chirurgie sont générés avant même que le patient n'entre dans la salle d'opération (suremballages).[31] Une seule opération peut produire autant de déchets qu'une famille de quatre personnes en 1 semaine.[31]

1.1.1.2.2.2 Focus sur les blocs opératoires

Une étude Américaine de 2017 menée par MacNeil et al. a cherché à déterminer l'empreinte carbone de blocs opératoires d'hôpitaux dans 3 systèmes de santé

différents. Le *University of Minnesota Medical Center* aux Etats-Unis, le *Vancouver General Hospital* au Canada et le *John Radcliffe Hospital* à Oxford en Angleterre.[7]

Les blocs opératoires étudiés ont une empreinte carbone annuelle de 5188 tonnes de CO₂ équivalent pour l'hôpital anglais, 4182 tonnes pour l'hôpital américain et 3211 tonnes pour l'hôpital canadien. Rapporté au nombre de cas opératoires sur les 3 sites, l'hôpital canadien a un impact carbone de 146 kg de CO₂ équivalent par cas, l'hôpital anglais 173 kg de CO₂ par cas et l'hôpital américain 232 kg de CO₂ par cas.

Les gaz anesthésiques et la consommation d'Energie étaient les plus gros contributeurs de gaz à effet de serre dans cette étude. L'utilisation du desflurane par l'hôpital américain a résulté en des émissions de gaz anesthésiques 10 fois supérieurs aux autres hôpitaux qui n'en utilisaient pas. Les auteurs recommandent donc d'éviter l'utilisation de desflurane en anesthésie, gaz très polluant. Les blocs opératoires consommaient 3 à 6 fois plus d'Energie par mètre carré de surface que le reste de l'hôpital, en particulier du fait de besoins de chauffage, ventilation et climatisation particuliers. Les auteurs ont montré que l'Energie nécessaire au fonctionnement du chauffage, de la climatisation et de la ventilation au bloc opératoire représentait 90% de l'Energie consommée. Par comparaison une étude avait montré qu'au sein d'un service d'hospitalisation le chauffage, la climatisation et la ventilation étaient responsable de 52% des besoins l'énergie.[32] Ainsi les efforts de diminution de consommation d'Energie doivent se focaliser sur la gestion du système de chauffage, ventilation et climatisation au bloc opératoire.

Dans la discussion les auteurs soulignent le fait que l'ensemble des professionnels qui interviennent au sein du bloc opératoire ont la capacité d'agir sur l'empreinte carbone globale du bloc opératoire en examinant de manière critique leurs pratiques et en établissant des changements de comportement à l'échelle de leur spécialité. La réduction de l'impact environnemental des blocs opératoire dépend donc de l'engagement et des innovations des nombreux participants à son fonctionnement. Les auteurs insistent sur le rôle des chirurgiens et des infirmières qui peuvent influencer des achats plus responsables de l'environnement et minimiser les déchets.

En ayant conscience de la consommation de ressources au bloc opératoire bien supérieure au reste de l'hôpital, des stratégies de réductions ciblées sur le bloc opératoire auront donc un impact majeur de réduction d'impact au sein du système de santé ou d'un hôpital.

1.1.1.2.3 Impact de l'Ophtalmologie

1.1.1.2.3.1 La chirurgie de la cataracte

1.1.1.2.3.1.1 Généralités

L'empreinte écologique de la chirurgie de la cataracte est devenue un sujet de recherche important en Ophtalmologie. De plus en plus d'études s'y intéressent.

Il s'agit de la chirurgie la plus fréquente au monde, elle est pratiquée des millions de fois chaque année. Elle donne un excellent modèle pour étudier l'impact environnemental de la chirurgie en général et du système de santé. Elle offre aux ophtalmologistes de par sa fréquence un rôle prépondérant à jouer pour réduire l'impact économique et environnemental dans leur service en réfléchissant à de nouveaux modèles de soins efficaces et respectueux de l'environnement.

De récentes études se sont intéressées au calcul de l'impact environnemental de la chirurgie de la cataracte en utilisant des analyses de cycle de vie. Il est intéressant de noter que ces études mettent en lumière le fait que la chirurgie de la cataracte est l'acte chirurgical le plus polluant au monde à la fois de par le nombre de chirurgies effectuées et par les consommables à usage unique utilisés.

Dans la littérature scientifique nous retrouvons une étude américaine, une étude anglaise, et une étude française qui s'intéressent à l'impact environnemental de cette chirurgie. Nous avons cherché à comparer les résultats de ces études comme ont pu le faire les auteurs de l'étude américaine. Il faut cependant garder en mémoire qu'il n'existe pas une façon de réaliser une étude d'impact environnemental mais une multitude avec des méthodologies et des champs d'études bien différents, de plus il n'existe pas de base de données internationales spécifiques, donc par définition les résultats de ces études ne sont pas comparables entre eux. Néanmoins cette réflexion de comparaison reste très intéressante pour réfléchir à des solutions de réduction d'impact.

1.1.1.2.3.1.2 L'impact environnemental de la chirurgie de la cataracte

1.1.1.2.3.1.2.1 En Inde

L'étude Américaine de 2017 menée par Thiel et al. détermine l'impact environnemental de la chirurgie de la cataracte par phacoémulsification en Inde. Ces données sont vraiment intéressantes puisqu'elles offrent la possibilité de comparer des modèles très différents (Inde vs systèmes de soins occidentaux).[3] De plus cette étude est réalisée au sein du réseau Aravind, qui est réputé internationalement pour la qualité des soins prodigués et son efficacité environnementale.[33] Le Aravind Eye Care System présent dans l'état Indien du Tamil Nadu est un groupe de 11 hôpitaux spécialisés en Ophtalmologie. Il s'agit du plus grand réseau de soins ophtalmologiques au monde : 475000 chirurgies oculaires y sont réalisées chaque année.[33] Le système Aravind, avec ses instruments réutilisables et son modèle pour la chirurgie sert d'exemple pour une chirurgie de la cataracte plus durable. Le modèle Aravind est reconnu pour son succès financier et social, mais également pour son empreinte environnementale.[33]

Les auteurs ont trouvé que la phacoémulsification de 1 cataracte en Inde était responsable de l'émission de 5,89 kilogrammes (kg) de CO₂ équivalent, et génère 250 grammes de déchets se répartissant en 1/3 de DASAOM et de DASRI, et 2/3 de recyclables. Il est à noter que les auteurs n'ont pas pris en considération des émissions liées au transport du patient ou du personnel ni les consultations pré et post opératoire ; Ils se sont cantonnés à l'acte en lui-même.

En comparaison avec 3 centres américains, ils génèrent entre 2,3 et 3,9 kg de déchets par cas sans aucun recyclage. Le coût des instruments à usage unique était de 380\$ par cas aux Etats-Unis, pour 7\$ en Inde.

Il est intéressant de noter que 25% de l'ensemble du poids des déchets provient de l'emballage et de la notice de l'implant. Bien que le système Aravind utilise très peu d'ustensiles et de consommables à usage unique ceux-ci représentent 60% des dépenses liées à une chirurgie. Plus de 50% des émissions de CO₂ de l'acte proviennent de l'étape de stérilisation ce qui n'est en rien étonnant avec la prépondérance des objets réutilisables par rapport aux objets jetables en Inde. Il

convient de noter que l'électricité Indienne est responsable d'une émission plus importante de CO2 au kilowattheure (kWh) consommé qu'en France puisqu'une part importante de la production d'électricité provient de la combustion d'Energie fossile.

Les auteurs ont mis en perspective les résultats de leur étude avec les résultats de l'étude anglaise,[4] en adaptant les résultats selon les méthodologies des études qui étaient différentes. Les comparaisons sont sans appel les émissions de CO2 dans le système Aravind représentent 5% des émissions anglaises pour une phacoémulsification. Pour donner une idée de l'ampleur du phénomène les auteurs ont fait des comparaisons d'économie de CO2 entre les 2 pays. 1 phacoémulsification dans le système Aravind équivaut à conduire une voiture individuelle sur 23 kilomètres (kms) pour alors qu'elle équivaut à 700kms pour l'acte en Angleterre. Si le modèle anglais était réalisé sur l'ensemble des chirurgies de la cataracte réalisées en Inde chaque années cela résulterait en des émission de 1,16 millions de tonnes de CO2 équivalent soit l'équivalent de 250000 véhicules individuels conduits pendant 1 an et nécessiterait 30 millions d'arbres poussant pendant 10 ans pour séquestrer cette quantité de carbone.[34] Alors que si le modèle Aravind est utilisé cela reviendrait à 42000 tonnes de CO2 équivalent par années soit l'équivalent de 8900 véhicules individuels conduits pendant 1 an ou 1,1 millions d'arbres poussant pendant 10 ans pour séquestrer la quantité de carbone.[34]

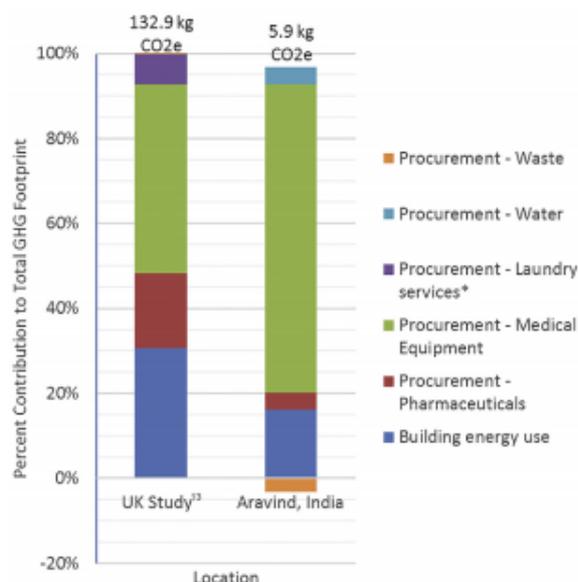


Figure 8 Comparaison des émissions de GHS pour une chirurgie de cataracte par phacoémulsification entre l'Angleterre et l'Inde d'après Thiel et al.[3]

Leur taux de complication (en particulier l'endophtalmie post-opératoire est de 1 pour 2942 phacoémulsifications soit 0,03% des chirurgies) est comparable à celui retrouvé dans des études occidentales.[19] De nouvelles données ont été publiées par le Système Aravind. Ils rapportent un taux d'endophtalmie de 0,02% sur plus d'un million de cataractes consécutives avec une prophylaxie composée de l'instillation d'antibiotiques topiques et de l'injection intra-caméculaire d'antibiotiques.[35]

1.1.1.2.3.1.2.2 En Angleterre

L'étude anglaise réalisée en 2012 par Somner et al. dans un hôpital public calcule l'empreinte carbone de la chirurgie de cataracte en Angleterre. Les auteurs ont calculé des émissions de 181,8kg de CO₂ équivalent en prenant en compte les transports liés au patient et du personnel.[4] En adaptant sur la méthodologie de l'étude Américaine en enlevant notamment les transports et les consultations pré et post opératoires l'impact est de 130kg d'équivalent CO₂.[3]

Les auteurs ont cherché à calculer l'impact carbone du « chemin patient » lors d'une chirurgie de la cataracte en prenant en compte l'acte en lui-même ainsi que ainsi que les consultations pré et post opératoires. Cette étude est très intéressante puisqu'elle répartit les émissions de CO₂ de l'acte en différents secteurs comme décrit dans le *Green House Gas Protocol (GHG protocol)* afin de mettre en lumière les secteurs responsables des émissions de carbone les plus importantes pour pouvoir cibler les actions de réduction. Il en ressort que le secteur du transport (du patient et du personnel pour les consultations pré et post opératoire ainsi que le transport le jour du bloc) représente 10,1% des émissions de CO₂. Les émissions en lien avec l'Energie nécessaire au fonctionnement de la salle du bloc pendant l'acte représentent 36,1% du total. La partie la plus importante des émissions se retrouve dans le secteur des achats de matériel médical avec 53,6% dont 32,6% des émissions totales de l'acte qui se retrouvent dans les consommables médicaux principalement jetables. La gestion des déchets ne représente que 1,9% des émissions de CO₂ de l'acte.

Ainsi avec une part importante des émissions de CO₂ des phacoémulsifications Anglaises qui se retrouvent dans l'utilisation de consommables à usage unique ceci

explique les moindres émissions de CO2 du modèle Aravind Indien qui utilise très peu d'instruments ou de consommables à usage unique.

1.1.1.2.3.1.2.3 En France

L'étude française réalisée en 2012 par le Docteur Zaluski et l'agence Primum Non Nocere a retrouvé des émissions pour 1 chirurgie de cataracte dans un centre privé de 17,45kg de CO2 équivalent, l'utilisation de 124 litres d'eau, 600g de papier et 340g de carton, 63 kWh d'électricité, la production de 2,33kg de DAS dont 1,5kg de DASRI et 830g de DASAOM.[5]

A titre de comparaison dans leur étude l'empreinte carbone de 25 chirurgies de la cataracte en France correspond à 1 aller-retour en avion de Paris à New-York, 5000 kms en zone urbaine embouteillée en véhicule de petite cylindrée (soit 6 mois de circulation en Ile de France).

1.1.1.2.3.1.3 L'impact environnemental des médicaments non utilisés en chirurgie de la cataracte

Une récente étude Américaine de Tauber et al. s'est intéressée au coût et à l'impact environnemental des produits pharmaceutiques non utilisés dans la chirurgie de la cataracte par phacoémulsification.[36]

Les auteurs ont mesuré le poids ou le volume restant de médicaments (en excluant le contenant et l'emballage) après chaque chirurgie de cataracte sur 4 sites chirurgicaux différents (3 centres privés et 1 centre public). Ils en ont déterminé la valeur monétaire du produit non utilisé en se basant sur le prix d'achat des médicaments par la pharmacie centrale multiplié par le pourcentage de produit non utilisé. En utilisant une analyse de cycle de vie de type « *Economic Input-Output* » (*EIO-LCA*) ils en ont déterminé les impacts environnementaux.

Ils ont remarqué que 45,3% des médicaments (83070mL sur 183304mL utilisés chaque mois) finissaient à la poubelle. Les collyres étaient le sous type de

médicaments qui étaient le plus gâchés (65,7%) en comparaison avec les traitements per os (59,9%) et les traitements intraveineux (24,8%). Le cout annuel de ces produits non utilisés atteint en moyenne 195200 dollars par site et le cout environnemental était en moyenne de 17,29 tonnes de CO2 équivalent par an par site (soit l'équivalent de brûler 7194,5 litres de gasoil).[34]

Ils en concluent donc que les produits pharmaceutiques non utilisés lors d'une chirurgie de la cataracte par phacoémulsification représentent un impact financier et environnemental non négligeable. Nous noterons que les auteurs soulignent qu'aux Etats-Unis les flacons de collyres sont multidoses mais sont à usage unique et contiennent en moyenne entre 5mL et 15mL et qu'il est interdit au médecin de laisser au patient le flacon après la chirurgie. En Europe nous utilisons plutôt des packagings de collyres unidoses à usage unique de moins de 1mL.

Dans la discussion les auteurs insistent sur le fait que des études bien faites qui réduisent les inquiétudes autour des contaminations croisées pourraient permettre un usage sécuritaire chez de multiples patients des collyres multidoses grâce à des recommandations de pratiques par des sociétés savantes. Ils donnent l'exemple de l'ASCRS qui supporte l'usage des flacons de collyres pour de multiples patients tant que des protocoles appropriés sont suivis.[37] Cela rejoint l'étude de Jensen de 2014 qui rapportait économiser des centaines de dollars par chirurgie de la cataracte en utilisant des flacons de collyres multidoses sans effets indésirables.[38] Ils émettent également l'idée que le patient pourrait repartir avec le flacon de collyre à la fin de la procédure chirurgicale.

1.1.1.2.3.2 La chirurgie du glaucome

Une étude Américaine de 2015 menée par Namburar et al. a comparé la production de déchets d'une procédure chirurgicale de glaucome (Trabéculéctomie sans phacoémulsification associée) entre un centre indien, le *Aravind Eye Hospital* de Madurai qui réalise 2000 chirurgies de glaucome par an et un centre américain privé avec un secteur spécialisé dans la prise en charge du glaucome le *Baltimore-area Community Hospital*. [6] Il s'agit de la première étude qui s'intéresse aux déchets générés par la chirurgie de glaucome.

La production moyenne de déchets par trabéculéctomie à Madurai était de $0,5 \pm 0,2$ kg comparé à une moyenne de $1,4 \pm 0,4$ kg par trabéculéctomie au *Baltimore-area Community Hospital*. Ainsi l'hôpital américain génère 2,8 fois plus de déchets pour une procédure de trabéculéctomie comparé à l'hôpital indien.

Les techniques chirurgicales entre les 2 hôpitaux étaient quasiment similaires. A Madurai ils réutilisaient les instruments et les médicaments entre les patients ce qui aboutit à une génération moindre de déchets. L'institution Indienne génère pour un nombre équivalent de trabéculéctomie l'équivalent de 35% des déchets générés par l'institution américaine. De plus aucun processus de recyclage n'était mis en place dans le centre américain.

Ils se sont également intéressés aux complications des trabéculéctomies pour voir si les normes imposées aux Etats-Unis en termes de sécurité apportaient un bénéfice au niveau infectieux et au niveau des complications opératoires. Dans le système Aravind un registre interne est utilisé pour recenser toutes les complications survenant après une chirurgie de glaucome et les patients sont suivis sur une durée de 6 semaines après la chirurgie. Les auteurs n'ont pas pu se procurer les informations concernant les complications post trabéculéctomies du centre américain et se sont donc basés sur les taux de complication de la chirurgie de glaucome aux Etats-Unis comme point de comparaison. Dans la section payante de l'hôpital de Madurai 376 trabéculéctomies ont été réalisées en 2014 avec 11 patients qui ont présenté une infection post opératoire et 23 patients qui ont eu des complications post opératoire jusqu'à 6 semaines en incluant la nécessité de recourir à une seconde intervention. Ainsi le taux global de complication était de 9,0%. En comparaison, Jampel et al. ont trouvé dans la *Collaborative Initial Glaucoma Therapeutic Study*, un taux de complication per-opératoire de 12% et un taux de complication post opératoire précoce (jusqu'à 1 mois après la chirurgie) de 50% sur un échantillon de 290 trabéculéctomies.[39] En comparant spécifiquement sur le taux d'endophtalmies post opératoire, en 2015 l'hôpital de Madurai a eu un taux d'endophtalmie post trabéculéctomie de 0,27%. Une étude de 2013 portant sur 300 personnes aux Etats unis a rapporté un taux d'endophtalmie de 1,1%.[40]

Cette étude a des limitations comme le caractère unicentrique des sites de comparaison ainsi que le faible nombre de patients. Cependant le cas du centre de soin Indien démontre qu'il est possible de réduire les déchets générés par la chirurgie

de glaucome sans augmentation des effets indésirables. Cet article est le premier à montrer ces résultats, ce qui pourrait mener à une réflexion sur la pertinence scientifique des lois spécifiques à la production des déchets chirurgicaux. Les auteurs concluent sur le fait que leur étude ainsi que d'autres montrent que nous devons continuer à précisément examiner les lois encadrant les déchets médicaux et l'effet qu'elles ont en termes de coûts et de consommations de ressources.

1.1.1.2.4 Impact du CHU de Lille

Un bilan des émissions de gaz à effet de serre (GES) a été réalisé à l'échelle du CHU de Lille en 2017[41] par la méthode Bilan Carbone® développée par l'Agence du Développement et de la Maitrise de l'Energie (ADEME) conformément à l'article L229-25 du code de l'environnement introduit par l'article 75 de la loi n°2010-788 du 12 juillet 2010.[42] Il stipule que les personnes morales de droit privé employant plus de 500 salariés doivent réaliser un Bilan des Emissions de Gaz à Effet de Serre (BEGES). Plus de 11 000 collaborateurs travaillent sur les différents sites du CHRU de Lille. Il est de ce fait soumis à l'obligation d'établir le bilan de ses émissions de GES, au format réglementaire.

Le CHU de Lille c'est 11 établissements de soins principaux, 11600 Equivalents Temps Plein, 3218 lits d'hospitalisation, 720 000 consultations par an, 228 000 patients hospitalisés par an, 154 775 passages aux urgences par an, 5 739 naissances par an.

Nous remarquerons que dans ce bilan des émissions de GES, seul les scopes 1 (Emissions directes fixes et mobiles) et 2 (Emissions indirectes associées à l'Energie) ont été pris en compte, le scope 3 (autres émissions indirectes) n'y a pas été intégré. Ainsi tous les consommables utilisés, la gestion des déchets, les déplacements du personnel pour venir travailler et les déplacements des patients et des visiteurs n'ont pas été pris en compte. Il existe donc une sous-estimation non négligeable de l'impact réel du CHU en n'intégrant pas ces données.

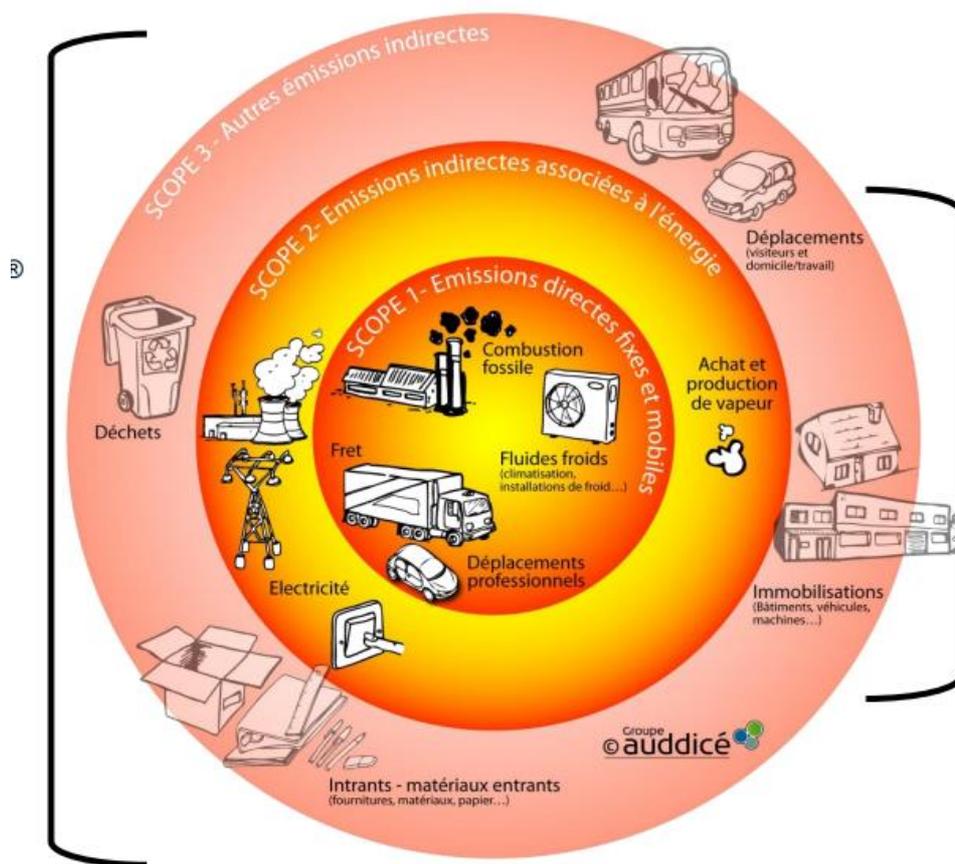


Figure 9 Périmètre d'investigation du bilan d'émission de GES du CHU de Lille d'après le groupe Audicé

Le rapport retrouvait un impact de 25804 tonnes équivalent de CO₂ pour une année avec une incertitude de 13%. Ce qui revient à 2,2 T CO₂eq par agent hospitalier, 0,05 T CO₂eq par mètre carré ou 8,2 T CO₂eq par lit d'hospitalisation.

Ce rapport retrouvait que la sous partie Energie était responsable de l'émission de 86% des émissions de GES. Le second poste le plus émetteur est celui dédié aux fluides froids et gaz médicaux. Ce poste représente 9% des émissions de GES.

A périmètre équivalent les auteurs du rapport notent une baisse des émissions de GES par rapport au précédent de 2009 de l'ordre de 24%.

1.1.2 Le développement durable en santé

1.1.2.1 Définition du développement durable

Le développement durable (DD) est un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs. Il s'agit d'une démarche éco-responsable définie en 1992 au Sommet de la Terre à Rio comme « un développement économiquement efficace, socialement équitable et écologiquement soutenable » reposant sur trois piliers : l'environnement, l'économie et l'aspect social.[43] Une stratégie de DD se doit d'apporter un progrès tant économique qu'environnemental et social.

Quatre principes y sont également associés : le principe de précaution, le principe de gestion des ressources naturelles, le principe de responsabilité individuelle et collective et le principe de participation.

1.1.2.2 Le cadre réglementaire

Le législateur accorde de plus en plus d'importance à la démarche du développement durable notamment pour les structures de soins ce qui oblige ces dernières à intégrer pleinement une démarche de DD pour être en conformité avec la Loi. Ce travail de thèse s'intègre donc dans cette démarche au sein d'un établissement hospitalier.

1.1.2.2.1 La certification V2010

Etablie par la Haute Autorité de Santé (HAS), elle s'impose à tous les établissements de santé et intègre parmi ses critères la notion de développement durable. Le critère 1b page 16 est spécifique de l'engagement dans le développement durable.[44]

L'objectif est d'intégrer les enjeux liés au développement durable dans :

-les valeurs, missions et activités d'un établissement de santé.

-la démarche d'amélioration continue de la qualité, dans une perspective de continuité et de durabilité.

-la gestion des risques, et des déchets, elle-même élargie à la prise en compte des risques environnementaux.

Le critère vise à inciter les établissements de santé à promouvoir le développement durable dans leur stratégie, en fondant leur démarche sur la réalisation d'un diagnostic.

1.1.2.2 Le Grenelle de l'Environnement

Il s'agit d'un ensemble de rencontres politiques organisées en France en septembre et décembre 2007, visant à prendre des décisions à long terme en matière d'environnement et de développement durable.[45]

Il a défini les enjeux liés au développement durable en l'inscrivant dans une démarche de responsabilité sociétale des organisations par une responsabilité économique, sociale et aussi environnementale. Il est devenu une composante essentielle de la stratégie des entreprises et le monde de la santé n'y échappe pas. Les établissements de santé, comme toute autre entreprise et collectivité doivent répondre à l'objectif du Grenelle de l'environnement : réduire de 20% les émissions de gaz à effets de serre d'ici 2020.

En 2009 est signé une convention avec la Fédération hospitalière de France (FHF), la Fédération des établissements hospitaliers et d'aide à la personne privés non lucratifs (FEHAP) et l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME) pour porter les engagements des établissements de santé dans le cadre du Grenelle de l'Environnement. Elle établit clairement le développement durable comme un élément stratégique de l'activité et du fonctionnement des hôpitaux. Elle vise à encourager les hôpitaux à s'engager ou à poursuivre des actions conformes aux engagements du Grenelle de l'Environnement et aux nouvelles attentes de la société. Elle fixe des objectifs dans tous les domaines où l'impact de l'hôpital est important et peut être amélioré. La convention fixe des critères de progrès avec des objectifs de progression

ambitieux et généralement supérieurs aux engagements du Grenelle. Les axes de progrès fixés par la convention portent notamment sur les économies d'eau et d'énergie, l'écoconstruction, la réduction des gaz à effet de serre, la gestion des déchets, la politique d'achats, la formation.

Parmi les principes directeurs ayant guidé l'établissement de cette convention nous notons :

- évaluer objectivement la performance des établissements de santé en matière de développement durable.
- intégrer les enjeux du développement durable dans les pratiques professionnelles des acteurs de santé.
- prendre en compte systématiquement les enjeux du développement durable dans l'évaluation des projets et dans les processus de décisions.
- amplifier les programmes de formation et les actions de sensibilisation aux enjeux et aux projets de développement durable.
- intégrer des critères de performance en matière de développement durable dans le management.
- envisager le développement durable des établissements de santé au niveau de leur territoire d'installation et d'influence.

1.1.2.2.3 Le Guide pour des achats durables appliqués aux produits de la Santé

Le ministère de l'économie et des finances a établi en mars 2013 un Guide pour des achats durables appliqués aux produits de la Santé.[46]

Il est intéressant de remarquer que la thématique carbone est classée dans les thèmes inappropriés pour guider les hôpitaux dans leurs achats ; selon eux l'analyse du cycle de vie (ACV) des produits est trop complexe à évaluer. (L'ACV est défini à la suite dans la partie 1.2.3.2.1.

Il stipule qu'un acheteur public qui réalise son bilan carbone ne peut exiger dans ses procédures de consultations que le soumissionnaire ait réalisé le bilan carbone pour les fournitures inscrites dans le marché. L'acheteur pourra le demander

éventuellement à titre informatif, mais ne pourra pas s'en servir comme critère de jugement de l'offre et encore moins l'intégrer dans une spécification. Actuellement, le soumissionnaire n'a aucune obligation de réponse quant aux émissions de gaz à effet de serre liées notamment au transport des marchandises faisant l'objet du marché.

Le document insiste sur la complexité des phénomènes en jeu et de leurs interactions qui est source d'incertitude sur la valeur réelle des impacts sur l'environnement. Dans le cadre d'une consultation portant sur un bien précis, et dans la mesure où l'évaluation doit toujours rester liée à l'objet du marché, il paraît difficile pour un candidat de fournir une ACV d'un bien particulier. Selon eux les méthodologies d'ACV divergent, donc à l'heure actuelle une ACV n'est pas comparable à une autre ACV. La vérification des données fournies par le candidat semblant extrêmement difficile, l'analyse du cycle de vie d'un dispositif est à ce titre un sous critère inapproprié du critère développement durable.

Il nous semble donc très important que des critères d'ACV validés, reproductibles, pouvant établir des comparaisons fiables, voient le jour et soient reconnus pour pouvoir comparer entre eux des dispositifs médicaux et ainsi guider l'acheteur. Les critères actuellement en vigueur pour les dispositifs médicaux jetables nous semblent inadaptés.

1.1.2.3 Les études d'impact environnemental

1.1.2.3.1 Concepts

La prise de conscience accrue de l'importance de la protection de l'environnement et des impacts possibles associés aux produits, à la fois fabriqués et consommés, a abouti au développement de méthodes destinées à mieux comprendre et traiter ces impacts. L'une des techniques développées à cet effet est l'analyse du cycle de vie (ACV).

Les analyses de cycles de vie et les bilans d'impact carbone sont un travail préalable indispensable à la démarche d'éco-conception en permettant d'évaluer les

performances d'un produit ou d'un soin, en déterminant et en ciblant des opportunités de réductions et en permettant de réfléchir à des solutions alternatives pour l'améliorer. Ce travail permet également d'informer les acheteurs, les décideurs de l'industrie ou des organisations gouvernementales sur les impacts environnementaux des soins.

1.1.2.3.2 Conception d'une étude d'impact environnemental en santé

1.1.2.3.2.1 Analyse du cycle de vie (ACV)

L'analyse du cycle de vie est une méthode scientifique utilisée pour quantifier les émissions d'un produit ou service tout au long de son cycle de vie, de l'extraction de la matière première en passant par sa fabrication, son emballage, son transport, son utilisation et sa fin de vie (élimination ou recyclage). Il existe une multitude d'émissions qui peuvent être calculées et qui sont classées en catégories (par exemple l'émission de gaz à effet de serre en est une).

Le nombre d'ACV en Médecine s'est multiplié ces dernières années, preuve d'une prise de conscience grandissante de la communauté médicale concernant ce thème du développement durable.

1.1.2.3.2.1.1 Méthodologie

L'organisation internationale de normalisation ISO a établi des guidelines pour la réalisation d'analyses de cycle de vie. La référence dans les ACV en santé est la norme ISO 14040 :2006.[47] Elle stipule que les ACV doivent être réalisées en 4 étapes :

La première correspond à la **définition de l'unité fonctionnelle et du périmètre de l'étude.**

L'unité fonctionnelle correspond à l'objet ou au service d'intérêt. Par exemple, si l'on considère un acte médical l'ensemble des objets et des services ayant concourus à la réalisation de l'acte vont être pris en compte.

Le périmètre de l'étude correspond aux limites auxquelles l'analyse de cycle de vie s'intéresse. Par exemple pour un périmètre correspondant à la période per-opératoire, les émissions relatives à la période pré et post opératoire ne seront pas prises en compte. Le moment où le patient entre dans le bloc opératoire et le moment où le patient ressort du bloc opératoire correspondent souvent à ce qu'on appelle la période per-opératoire.

La deuxième étape correspond à **l'inventaire du cycle de vie.**

Lors de cette étape, on cherche à lister l'ensemble des objets ou services utilisés et toutes les émissions environnementales associées. Cette étape nécessite l'utilisation de bases de données comme la Base Carbone[48] ou la base de données Suisse *Ecoinvent database*. [49] Les inventaires de cycles de vie sont utilisés pour comprendre dans quelle mesure ces objets ou services contribuent aux émissions environnementales et à quel moment de leur cycle de vie ces émissions se produisent. Les émissions de CO₂ sont la catégorie d'impact environnemental la plus souvent employée. Cependant d'autres catégories existent comme les polluants atmosphériques, de l'eau, du sol, l'appauvrissement de la couche d'ozone, l'acidification des océans et bien d'autres.

La troisième se réfère à **l'évaluation des impacts.**

On détermine les multiples émissions et impacts environnementaux du produit dans les différentes catégories d'impact étudiées. Cette étape permet de repérer des avantages relatifs dans une catégorie (émission de CO₂ par exemple) et des inconvénients relatifs dans d'autres (pollution des eaux par exemple). Il existe plusieurs méthodes pour le calcul de l'impact environnemental que nous allons décrire ci-dessous.

La quatrième est l'étape d'**interprétation des résultats**. C'est une étape essentielle pour la prise de décision.

Comme énoncé ci-dessus, il existe 3 méthodes de calcul d'impact environnemental d'un produit ou service[50].

1.1.2.3.2.1.1.1 Le modèle Economic Input-Output-based : la valeur monétaire détermine les émissions de CO2

Le modèle ***Economic Input-Output based*** détermine les émissions environnementales du cycle de vie d'un objet ou d'un service en fonction de sa valeur monétaire. Il se base sur les flux entre les différents secteurs économiques impliqués. C'est-à-dire qu'il repose sur une empreinte environnementale attribuée à une valeur monétaire dépensée.

Cela permet une approximation des émissions de CO₂eq par valeur monétaire dépensée (par exemple kg de CO₂eq par euro dépensé) pour différents secteurs économiques (par exemple, les produits pharmaceutiques).

Ce système est très intéressant à l'échelle d'une région, d'un pays, et peut même être appliqué à de plus petites échelles pour une grande variété de produits et de services. Cependant il manque de spécificité et de précision à petite échelle.

La création de ce type de modèles est complexe (l'économie actuelle est globalisée et de multiples régions doivent être prises en compte) mais une fois établis, ils sont relativement simples à utiliser et les données nécessaires sont souvent facilement disponibles.

1.1.2.3.2.1.1.2 Le modèle Process-based : l'ensemble des composants et des étapes du cycle de vie du produit ou du service déterminent les émissions de CO2

Le modèle **Process-based**, détermine l'impact environnemental d'un produit ou d'un service en utilisant des bases de données qui intègrent des facteurs d'émissions à ces matériaux ou services en prenant en compte chaque étape du cycle de vie qui compose l'objet ou le service d'intérêt. Il s'agit d'une approche qui implique une estimation des émissions à chaque étape du cycle de vie du produit et nécessite donc de recueillir de nombreuses informations.

Les ACV utilisant le modèle *Process-based* ont tendance à se focaliser sur des produits ou des processus ciblés et permettent des comparaisons intéressantes.

Ce sont des analyses qui demandent du temps, sont coûteuses et ont des limites d'estimation liées au défaut de récolte des données, ce qui amène à des biais de troncature. (Il s'agit la différence entre le chiffre indiqué et le chiffre réel causé par l'exclusion de voies de la chaîne d'approvisionnement). Cela signifie que toutes les émissions ne sont pas prises en compte car il est trop coûteux ou trop long d'obtenir toutes les données et il est impossible de savoir exactement où le système s'arrête. A causes des biais de troncature, la quantité de carbone incorporée dans un produit et sa chaîne d'approvisionnement est sous-estimée par ce type d'analyse. A titre d'exemple une étude a retrouvé une erreur de troncature de 60% sur l'analyse d'impact carbone d'un câble en cuivre industriel fabriqué au Royaume-Uni[50].

Ainsi lorsque l'on veut estimer l'impact carbone d'un produit à grande échelle, dont l'impact carbone spécifique a été déterminé avec ce type de modèle il faut le mettre à l'échelle par un « facteur d'erreur de troncature ».

1.1.2.3.2.1.1.3 Le modèle hybride

Il un modèle hybride associant les deux méthodes avec une sélection de frontières pour appliquer tel ou tel modèle pour utiliser le meilleur de chaque méthode. Cette approche donne plus de précision que chacun des deux autres modèles utilisés séparément. Une des méthodes d'hybridation la plus utilisée est la « méthode Tiered »

qui utilise des données du modèle *Economic Input-Output based* pour remplir les trous du modèle *Process-based*.

1.1.2.3.2.1.2 Limites

Toutes les études nécessitent la mise en place de limites au-delà desquelles le modèle ne s'applique pas.

Ainsi les résultats d'études qui emploient différentes méthodes et différentes limites ne peuvent pas être comparées les unes avec les autres. Il est donc important d'identifier non seulement un modèle et des limites appropriées, bien définies, mais aussi que cela soit adopté de manière universelle pour garantir des estimations d'émissions comparables entre les différentes études ou plateformes.

Un grand nombre de facteurs vont influencer la précision et la reproductibilité de l'estimation (données disponibles et qualité des données, frontière de l'étude, région géographique de l'étude, etc.). Par exemple l'intensité carbone de la fabrication des objets ou de l'utilisation d'électricité va varier entre les pays, notamment en fonction du mode de production de l'électricité et des normes environnementales en vigueur. Par exemple l'électricité produite en France (0,0599 kg de CO₂ / kWh)[51] (à partir d'énergie nucléaire et renouvelable) est responsable d'émissions de GES moindre que l'électricité produite en Chine (0,766 kg de CO₂ / kWh)[51], en Inde (0,912 kg de CO₂ / kWh)[51] ou au Pakistan (0,425 kg de CO₂ / kWh)[51] (à partir de charbon).

Ainsi un des problèmes majeurs est qu'un modèle appliqué à une région donnée va substituer de manière incorrecte les émissions de bien importés par des émissions de bien fabriqués de façon domestique. Par exemple la Chine a un secteur manufacturier beaucoup plus intensif en carbone que la France, mais les modèles à une seule région appliquent la même intensité carbone aux biens produits en Chine qu'en France ou ailleurs. Cela peut affecter de manière significative le calcul de l'impact carbone. Pour vous donner un ordre d'idée la Base Carbone de l'ADEME (principale base de données carbones Française) présente sur son site les estimations d'émissions de différentes matières avec un intervalle d'estimation large, suggérant parfois un manque de précision.[48]

Les évaluations du cycle de vie des médicaments sont difficiles. Elles nécessitent soit l'accès à des pratiques de fabrication confidentielles, soit une ingénierie inverse des réactions chimiques en utilisant des brevets publiés. Or la divulgation commerciale des émissions de CO₂ de l'industrie pharmaceutique n'a pas encore lieu.

Un paramètre important qui pourrait améliorer la précision des estimations serait la plus grande transparence de la part des fabricants.

1.1.2.4 Recommandations de bonnes pratiques

La société française d'ophtalmologie (SFO) et la société française d'hygiène hospitalière (SF2H) ont établies des recommandations datant de 2019 et publiées en 2020 concernant les bonnes pratiques des injections intravitréennes.[52] L'objectif de ces conseils de bonnes pratiques vise essentiellement à faire diminuer le risque infectieux.

Le challenge de cette voie d'administration selon les auteurs est de continuer à réduire le risque d'endophtalmie qui, même s'il est actuellement très bas, reste redoutable par son pronostic. L'endophtalmie reste donc la préoccupation majeure de cet acte. Ces recommandations insistent sur des points essentiels de sécurité auxquels nous ne pouvons déroger dans un but de réduction de l'impact environnemental de l'acte.

Nous ne détaillerons pas l'ensemble de ces recommandations mais celles qui sont en lien avec le cœur de ce travail.

L'IVT doit être réalisée dans une salle propre, non encombrée, bien éclairée, entretenue, sans particules volantes. Un bionettoyage des surfaces horizontales (essuyage humide avec un détergent désinfectant) doit être effectué avant le début de chaque séance d'injection.

Dans la salle d'IVT, le patient revêt une charlotte et éventuellement une surblouse à usage unique non stérile.

L'opérateur porte une blouse propre, une charlotte et un masque chirurgical. Il procède à une désinfection chirurgicale de ses mains, puis met des gants chirurgicaux stériles.

L'assistant(e) porte une blouse propre, une charlotte, un masque chirurgical. Il(Elle) effectue une désinfection des mains par friction hydroalcoolique de ses mains avant de préparer la table et de servir les produits à utiliser au cours de l'IVT.

Les auteurs rappellent qu'une antibioprofylaxie par voie locale ou générale n'est pas indiquée.

La déterision initiale avant la réalisation d'une antiseptie sur une peau sans souillure n'est plus obligatoire car aucune recommandation particulière n'a montré de preuve scientifique suffisante.[53] Cependant recommandation sera faite au patient d'arriver propre : pas de maquillage au niveau des yeux et du visage le jour de l'injection (pas de mascara), et recommandation d'une douche la veille ou le jour de l'intervention avec un shampoing doux (et non pas à la bétadine).

Antiseptie de la peau péri-oculaire, des cils et des paupières par une solution ophtalmique de povidone iodée à 5 %. En cas d'intolérance cutanée sévère prouvée et non contrôlable, après avoir discuté avec le patient du possible risque accru d'endophtalmie et avoir mis en balance cela avec le risque d'arrêt de traitement par le patient pouvant être délétère à sa vue, l'hypochlorite de sodium en solution aqueuse à 0,06 % sera utilisé.

Instillation voire « irrigation » de la solution ophtalmique de povidone iodée à 5 % sur la conjonctive. La solution de povidone iodée peut aussi, en plus, avoir été pré-instillée durant la désinfection de la peau pour permettre d'atteindre le temps de contact de 2 minutes recommandés dans les résumés des caractéristiques du produit (AMM). À noter que le temps de contact de 30 secondes seulement a fait l'objet d'un consensus européen (Guidelines EURETINA)[54], même si la préférence des auteurs de cet article est de laisser un temps total de contact conjonctival de 90 secondes, au moins[55].

Au plus près de l'acte, préparation de la table opératoire de façon aseptique avec un champ de table stérile. Mise à disposition d'un champ oculaire stérile troué, d'un marqueur de la pars plana, d'un blépharostat (ou tout système limitant les risques de contact entre l'aiguille et le bord libre de la paupière ou des cils), de compresses et de cupule(s) stérile(s). Eviter tout contact entre l'aiguille d'injection et le bord libre de la paupière ou les cils.

Rincer abondamment avec une solution de NaCl à 0,9 % stérile jusqu'à disparition de la coloration de l'antiseptique.

Il n'est pas recommandé d'instiller des antibiotiques par voie locale après l'injection, un pansement oculaire n'est pas non plus indiqué.

Inscrire la traçabilité des dispositifs médicaux stérilisables (ou éventuellement ceux à usage unique) et du médicament injecté.

En cas d'atteinte bilatérale, les injections des deux yeux peuvent être réalisées le même jour, quel que soit le produit injecté. Il conviendra dans ce cas d'une part de renouveler pour chaque œil la totalité du matériel utilisé durant la procédure d'injection et d'autre part pour le médecin de changer de gants stériles pour la deuxième procédure.

1.1.2.5 L'éco-conception des soins

1.1.2.5.1 Définition et concepts

L'éco-conception est une démarche préventive, innovante et valorisante qui consiste à prendre en compte les questions environnementales dans toutes les étapes du cycle de vie d'un produit ou d'un service : la conception, la fabrication, la distribution, l'utilisation, la valorisation en fin de vie tout en conservant ses qualités d'usage.[56]

Elle se caractérise par une vision globale de ces impacts environnementaux : c'est une approche multi-étapes (prenant en compte les diverses étapes du cycle de vie) et multicritères (prenant en compte les consommations de matière et d'énergie, les rejets dans les milieux naturels, les effets sur le climat et la biodiversité).[56]

L'éco-conception en santé représente donc le processus réflexif qui vise à l'application du développement durable dans le cadre du soin. Eco-concevoir un soin, c'est maîtriser l'empreinte écologique et énergétique d'un soin.[56]

L'éco-conception est une voie d'innovations et de progrès. Comme l'a souligné Olivier TOMA fondateur de l'agence Primum Non Nocere « Aujourd'hui, nous sommes dans la période de gestation de cette vision nouvelle de la conception et de la réalisation

des soins en France. Il faudra certainement du temps pour la rendre implicite, mais l'enjeu est tel en termes de santé publique que nous nous devons d'y réfléchir ».

Appliquée aux actes de soin, l'éco-conception a donc pour objectifs pratiques la réduction de la consommation de ressources non renouvelables et la valorisation des déchets par leur réutilisation ou leur recyclage. Cette démarche passe par l'application de plusieurs principes, les principes des « 5R »[57] :

Réduire les déchets d'activités de soins à risque infectieux ou assimilés (DASRI) en sensibilisant et en formant mieux le personnel au tri des déchets. Réduire également les autres déchets non dangereux, et les consommations de ressources. Ces dernières comprennent un large éventail comme le matériel non utilisé notamment des packs chirurgicaux, les emballages en promouvant avec l'industrie des partenariats pour des emballages moins importants et nécessitant moins de matière première, l'impression sur papier, l'utilisation de dispositifs médicaux à usage unique, les consommables domestiques (gobelets, capsules de café), les bouteilles d'eau à usage unique. On peut également chercher à réduire la quantité d'Énergie consommée dans les structures de soins en utilisant des lampes LED au lieu de lampes halogénées ce qui réduit de 49% la consommation d'énergie tout en ayant une efficacité d'éclairage similaire[57]. On peut également réduire la quantité d'Énergie consommée au bloc opératoire en adaptant la ventilation, la climatisation et le chauffage lorsque les blocs ne sont pas utilisés.

Réutiliser en utilisant des dispositifs médicaux et des textiles réutilisables ou « **remettre à neuf** » des dispositifs médicaux à usage unique par le fabricant ou un prestataire (comme cela existe aux Etats-Unis mais non autorisé en France actuellement).

Recycler, ce qui débute par le tri des 5 flux (plastiques, papier, carton, verre, bois et métaux) rendu obligatoire par un décret du 10 mars 2016.[58]

Repenser la composition des kits à usage unique en fonction des besoins réels en supprimant les éléments non nécessaires, les emballages médicaux, la politique d'achats médicaux en proposant par exemple des critères dans le cahier des charges tels que le coût carbone des produits, le suremballage. Les structures de soins bénéficient d'un certain pouvoir qu'elles peuvent mutualiser en se regroupant pour

peser dans les négociations d'appel d'offre avec les industriels et les orienter vers une démarche plus respectueuse de l'environnement et des ressources.

Rechercher, en analysant le cycle de vie des dispositifs médicaux utilisés et des pratiques médicales, en déterminant leur impact environnemental, en développant de nouvelles technologies vertes qui maintiennent une exigence de qualité des soins tout en réduisant leur impact. Il y a un immense besoin de recherche dans ce domaine. La rigueur de l'« *Evidence Based Medicine* » y est indispensable pour apporter de la légitimité aux résultats. Il faudrait également développer des outils de comparaison d'impact environnemental des dispositifs médicaux qui soient fiables et permettent de guider les acheteurs dans leur choix.

1.1.2.5.2 Applications en ophtalmologie

1.1.2.5.2.1 Utilisation des collyres au bloc opératoire

Dans la continuité du questionnement des pratiques en chirurgie de la cataracte, une étude Américaine de 2014 menée par Jensen et al. au centre médical régional *Utah Valley* chez des patients bénéficiant d'une chirurgie de la cataracte s'est intéressée à l'utilisation des collyres à usages multiples instillés chez différents patients au sein d'un bloc opératoire ophtalmologique.[38]

L'objectif était de développer une procédure d'utilisation de collyres à usage multiple chez différents patients qui soit acceptée et approuvée par la commission mixte d'établissement (composée de la direction et du comité local sur les maladies infectieuses). Le protocole a été établi dans le respect des standards sanitaires et à la lumière de recommandations scientifiques sur la bonne manipulation et utilisation des collyres multidoses. La procédure établit clairement en quoi constitue une contamination de flacon et requiert de le jeter et ne pas l'utiliser chez un autre patient selon les standards de l'*American Academy of Ophthalmology* (AAO).[59] Ces principes ont été acceptés par l'*American Society of Cataract and Refractive Surgery* (ASCRS). Cette étude s'intéresse au rapport bénéfice-coût de l'usage multiple des collyres.

La procédure a été acceptée par la commission mixte. Elle a permis des réductions de coûts significatives au patient et à la structure. Les coûts patients liés au traitement ont été réduits jusqu'à 283.85\$ par cas, les coûts pour la structure ont été réduits de 330.91\$ par cas.

Ainsi ce type de procédure pourrait être suivie par d'autres structures de soins à l'avenir. Procédure qui est considérée comme sûre et efficace par les sociétés savantes pour l'administration de gouttes multiples à différents patients et qui permet également de diminuer les déchets de médicaments et d'emballage et donc l'empreinte environnementale. Cette étude plutôt axée sur l'aspect médico-économique n'est pas transposable à l'Europe et peut sembler peu pertinente dans le cadre de cette thèse. Néanmoins la démarche et la réflexion autour de cette étude sont intéressantes car elles montrent que sur une pratique qui semble à risque, lorsqu'un protocole clair est établi et qu'il respecte les recommandations de sociétés savantes, cela peut amener à des changements de pratiques plus respectueuses de l'environnement.

1.1.2.5.2.2 Utilisation des collyres en consultation

Nous pouvons également porter la réflexion sur l'utilisation des pipettes de collyres à usage unique en consultation ophtalmologique. Chaque pipette est composée d'environ 1,8 grammes de polyéthylène de basse densité (PEBD) et contient environ 0,4 à 0,5 ml de solution[60]. Chaque goutte délivrée contient approximativement 0.05 ml, ce qui équivaut à 10 gouttes par pipette[60]. Ces pipettes étant utilisées pour un patient puis jetés immédiatement après, 80% du médicament se retrouve donc à la poubelle[60]. Ainsi nous pourrions nous demander si sur le plan environnemental il ne pourrait pas être judicieux de réutiliser ces pipettes chez différents patients ? Prendrions-nous un risque de transmettre des agents infectieux entre les patients ?

Il existe de nombreuses études à ce sujet dans la littérature très contradictoires au niveau des résultats en fonction de la méthodologie employée. Ces études ont été réalisées avec de faibles nombres de patients et se basent sur des critères de contamination de gouttes de collyre ou d'embouts de pipettes mais pas sur des prélèvements de pathogènes chez les patients ou sur des données de conjonctivites

secondaires à l'utilisation multiples des contenants. Les études elles même reconnaissent le manque de robustesse de leurs résultats. Voici en illustration 2 études récentes traitant de ce sujet aux résultats contradictoires.

Une étude anglaise de 2009 dirigée par Rautenbach et al. s'est intéressée à l'utilisation chez plusieurs patients de pipettes de collyre à usage unique dans un service d'ophtalmologie.[61] Leur objectif était de déterminer si ces utilisations multiples pouvaient véhiculer des bactéries entre les patients. La conclusion des auteurs est donc de dire que les pipettes de collyre à usage unique ont un potentiel risque de transmettre des bactéries et donc par le même mécanisme des virus entre les patients et que la réutilisation des pipettes à usage unique entre patients doit être remise en question.

Une autre étude anglaise de 2009 dirigée par Somner et al. s'est intéressée à évaluer le risque de contamination des pipettes de collyre à usage unique et quantifier le coût financier et environnemental de réduire ce risque à zéro en utilisant uniquement des contenants à usage unique une seule fois.[62] Pour les auteurs le risque de contamination croisée par du staphylocoque Coagulase-négative serait entre 1/400 et 1/80 si la pipette était réutilisée 1 fois ou 6 fois. Réduire ce risque à 0 en jetant immédiatement la pipette après utilisation chez un patient coûterait entre 2,75 et 4,6 millions de livres supplémentaires par année et générerait entre 6,85 et 11,42 tonnes de papier supplémentaires et entre 12,69 et 21,15 tonnes de plastique supplémentaires par rapport à une stratégie de réutilisation des pipettes à usage unique à l'échelle de l'Angleterre. Les auteurs concluent par le fait qu'une exposition au staphylocoque coagulase-négative n'est pas synonyme d'infection et qu'il serait intéressant de décider d'un niveau de risque acceptable pour un coût donné pour maximiser à la fois le coût et l'empreinte environnementale d'une part et la sécurité du patient d'autre part.

De nombreux praticiens en France et dans le monde utilisent des pipettes de collyre à usage unique chez plusieurs patients en respectant des règles d'hygiène et de bon sens élémentaires sans que de nombreuses épidémies de conjonctivites ne surviennent pour autant. Les ophtalmologistes peuvent également transmettre des pathogènes entre patients en manipulant leurs paupières avec leurs doigts. Nous pourrions également nous dire que si l'ASCRS a autorisé la pratique de l'utilisation multiples de flacons de collyre pour les chirurgies intra-oculaire à haut risque de

contamination à la lumière d'arguments scientifiques il semblerait que le risque est moindre pour l'instillation de collyres à usage unique chez les patients de consultation en appliquant les mêmes guidelines d'application des collyres. Nous noterons cependant qu'au bloc opératoire les surfaces oculaires ont été désinfectées à l'aide de l'application de Bétadine ophtalmologique 5%. Des études robustes et des recommandations claires de sociétés savantes à ce sujet pourraient être très intéressantes.

1.1.2.5.2.3 Les packs chirurgicaux

Une étude américaine de 2015 a analysé l'impact environnemental de 15 packs chirurgicaux confectionnés sur mesure dans 12 hôpitaux dédiés à une procédure d'accouchement par voie basse en utilisant une analyse de cycle de vie respectant les standards ISO 14040[63]. Ce type de réflexion peut tout à fait être transposé aux packs de chirurgie ophtalmologique ou dédiés aux procédures d'IVT. L'intérêt des packs chirurgicaux est d'augmenter l'efficacité en regroupant tous les objets nécessaires à une procédure. Ils permettent également d'optimiser la stérilité des objets.

Les auteurs ont trié, séparé et pesé les différents matériaux entrant dans la composition des packs. Les frontières de l'étude incluaient de l'extraction des matières premières à la fin de vie des produits.

Les résultats montrent que le polypropylène (matière à la base de la composition des casques chirurgicales, des champs opératoires et des emballages bleus de la stérilisation) est en poids le matériel prédominant (58% en moyenne). Cependant le coton (à la base de la composition de certaines compresses et pansements épongeant) qui représente 20% du poids des déchets en moyenne possède l'impact environnemental le plus important dans l'ensemble des catégories. Ainsi à titre d'exemple dans un des packs il est responsable de 88% des émissions de CO₂ du pack).

Ainsi les auteurs nous font remarquer dans cette étude la grande variance d'émission entre les différents packs sur mesure en fonction de la quantité et de la composition

des matériaux qui peuvent aller du simple au double. Ce raisonnement est transposable aux packs que nous utilisons en ophtalmologie.

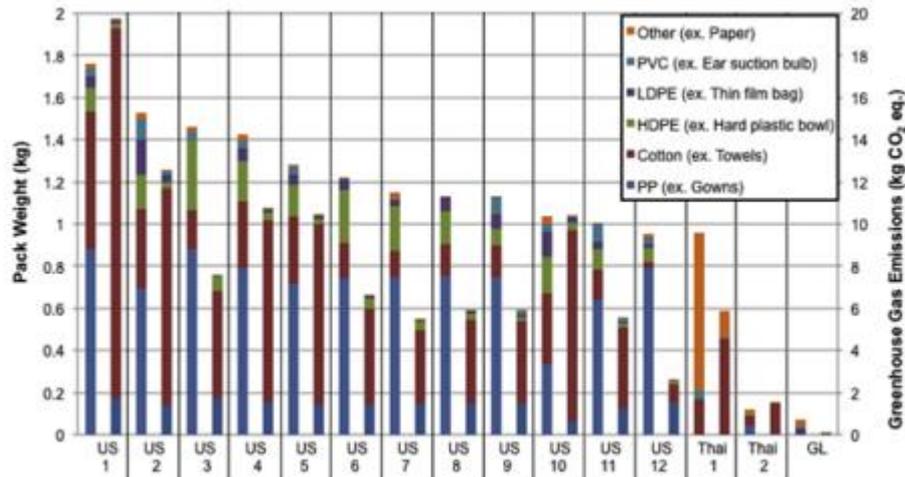


Figure 10 Poids (colonne de gauche) et émissions de GES (colonne de droite) des packs chirurgicaux en fonction de leur composition d'après Campion et al.[63]

De plus, les auteurs nous interpellent également sur l'impact environnemental majeur du coton. On estime que la production agricole et la fabrication textile d'1 kilogramme de coton aux Etats-Unis est responsable de l'émission de 9kg de CO₂ équivalents et consomme presque 19 mètres cubes d'eau.[64]

Ainsi la conclusion des auteurs est de dire qu'il est vraiment indispensable d'identifier les objets inutiles ou inutilisés dans les packs afin de les soustraire. Car à grande échelle cela représente des impacts environnementaux colossaux. De plus si l'on peut se passer de matériaux très polluants comme le coton cela réduit considérablement l'impact environnemental du pack. Il est donc indispensable que l'équipe médicale réévalue régulièrement la composition des packs en fonction de ses besoins pour éliminer les produits inutiles et trouver des alternatives plus écologiques quand elles sont possibles.

1.1.2.5.2.4 Le lavage des mains au bloc opératoire

Une étude anglaise de 2008 a cherché à investiguer la quantité d'eau moyenne utilisée durant un lavage des mains chirurgical.[65] Ils ont évalué deux systèmes de robinets pour déterminer si des innovations technologiques pouvaient promouvoir des lavages de mains chirurgicaux plus respectueux de l'environnement.

La procédure de lavage des mains a été observée au *Gartnavel General Hospital* de Glasgow où le robinet est actionné avec le coude et coule de façon continue, et au *Stobhill Hospital* de Glasgow où il est actionné avec la jambe et où un minuteur coupe automatiquement l'eau au bout de quelques secondes. Ils ont mesuré à l'aide d'un chronomètre la durée pendant laquelle l'eau coulait du robinet pendant le lavage des mains à 25 reprises dans les 2 centres.



Robinet actionné avec le coude au Gartnavel General Hospital de Glasgow



Robinet actionné avec la jambe au Stobhill Hospital de Glasgow

Figure 11 Différents robinets utilisés dans l'étude de Somner et Al[65]

Le robinet coulait en moyenne pendant 2 minutes et 23 secondes au *Gartnavel General Hospital* pour 1 minute et 7 secondes en moyenne au *Stobhill Hospital*. Ainsi le temps moyen d'écoulement de l'eau était significativement réduit $P < 0.001$ dans le 2^e centre. Cette innovation technologique permet une économie nette de 5,7 litres d'eau chaude, de 600 kilojoules (kJ) d'Énergie et de 80 grammes de CO₂ par lavage des mains chirurgical.

En Angleterre chaque année selon le *National Health Service (NHS)* 7 millions d'interventions chirurgicales sont recensées avec au minimum 1 chirurgien et 1 infirmière qui vont se laver les mains, ainsi en passant des systèmes de robinet au coude à celui à la jambe cela a permis d'économiser sur 1 an 80 millions de litre d'eau chaude (l'équivalent de la consommation quotidienne d'eau par 560000 personnes) (147 litres par jour) et 1400 tonnes de CO2 en termes de production d'Énergie.

Ainsi une innovation technologique peut réduire la consommation d'eau et d'Énergie et permettre d'améliorer l'empreinte environnementale du lavage des mains chirurgical sans en modifier son efficacité.

1.1.2.5.2.5 L'opinion des praticiens sur l'impact environnemental de leur pratique

Dans une étude très intéressante réalisée aux États-Unis en 2020 pilotée par Chang et al. en collaboration avec l'*Ophthalmology Instrument and Cleaning Sterilization (OICS) Task Force*, les auteurs ont cherché à évaluer l'opinion de chirurgiens ophtalmologistes concernant les déchets générés au bloc opératoire. Ils les ont également questionnés sur les facteurs qui amènent selon eux à des quantités excessives de déchets, ainsi que leur volonté à embrasser des initiatives de réduction d'impact carbone et de coûts.[66] 1300 ophtalmologistes et infirmières ont répondu à cette enquête en ligne.

Les résultats montrent que 93% des personnes interrogées trouvent que les déchets générés au bloc opératoires sont excessifs à leurs yeux et que des solutions devraient être trouvées pour les réduire ; 78% pensent que l'on devrait plus réutiliser les instruments et les consommables ; 90% se sentent inquiets à propos du réchauffement climatique ; 87% veulent que les sociétés savantes médicales militent et agissent pour réduire l'impact carbone de la chirurgie.

Les raisons les plus fréquemment invoquées par les ophtalmologistes à l'origine de la production importante de déchets étaient les restrictions concernant la réutilisation ou l'usage multiple de matériel, de consommable et des produits pharmaceutiques définies par la Loi et la notice d'utilisation des fabricants (82% des participants), devant le fait que les fournisseurs orientent le marché vers les instruments et consommables

à usage unique pour augmenter leurs profits (77% des participants), pour diminuer leur responsabilité (70% des participants), le bénéfice perçu par les instruments et consommables à usage unique en terme de sécurité d'utilisation (74% des participants), des emballages trop importants (71% des participants), et un manque de considération environnementale et de l'empreinte carbone de la part du staff médical (65% des participants).

Plus de 90% des participants pensaient que le profit, la réduction de responsabilité et la non prise en compte de l'impact carbone avait conduit les fabricants à produire des produits à usage unique.

Plus de 90% des participants veulent plus d'instruments et de consommables réutilisables de la part des fabricants, ainsi que des composés recyclables entrent dans la composition des emballages et que l'empreinte carbone soit prise en compte dans le design du produit.

Plus de 90% des participants veulent également plus d'information à la fois réglementaire et de la part du fabricant sur quand et quels produits peuvent être réutilisés.

En supposant un cout comparable, 79% des chirurgiens préféraient les instruments réutilisables aux jetables.

Par ordre décroissant de consensus, la plupart étaient intéressés par la multi-utilisation des médicaments topiques (97%) et intra-camérulaires (90 à 95%), des pointes de phaco re-stérilisables (92%), des tubulures re-stérilisables (76%) et solutions d'irrigation multi-utilisation (78%), des lames d'incision, des canules et des aiguilles à capsulotomie re-stérilisables, (72%).

Seuls 38% des participants pensent que les instruments réutilisables sont moins performants que les instruments jetables.

Concernant les freins à l'utilisation des instruments re-stérilisables et des produits multi-utilisations les raisons évoquées étaient le spectre de la faute pour raisons professionnelles (89% des participants) et le risque d'endophtalmie (86% des participants).

Les points ou les équipes étaient les plus réticentes à changer leur pratique étaient la réutilisation des gants (77%) et des casaques (28%) entre plusieurs patients.

Concernant les points ou les équipes étaient les plus enclin à changer leur pratique ils étaient 95% à vouloir changer le champ stérile à usage unique de grande taille pour un champ facial uniquement. 93% veulent que l'on puisse laisser les médicaments au patient à la fin de l'intervention, 90% que l'on envisage des cycles courts de stérilisation pour les autres chirurgies du jour, 90% que le patient n'ait pas à se changer et à enfiler la blouse d'hôpital, et 65% envisagent d'opérer de façon séquentielle immédiate les cataractes bilatérales.

Ces résultats montrent que les ophtalmologistes pensent que les fabricants ont un rôle primordial à jouer pour réduire l'impact carbone des actes médicaux. Acheter un produit confère un certain pouvoir qui peut orienter les fabricants vers un nouveau modèle de fabrication.

Un point intéressant soulevé par cette étude est que de nombreux organismes de réglementation obligent les blocs opératoires à suivre à la lettre les instructions d'utilisation des fabricants. Or ces instructions qui stipulent que l'objet est à usage unique ne sont souvent pas fondés sur des preuves et pourraient exister pour protéger la responsabilité des fabricants. Ainsi les ophtalmologistes pensent que les organismes de réglementation, les systèmes de santé et les fabricants devraient leur laisser plus de marge de manœuvre sur si et quand il est sûr et approprié de réutiliser des instruments chirurgicaux, des consommables ou des médicaments.

Les chirurgiens de cette étude veulent donc à la majorité retourner vers des instruments réutilisables.

1.1.2.5.2.6 La remise en cause des données du fabricant : l'exemple des pointes de phaco

Les pointes de phaco jetables et réutilisables sont souvent faites d'un alliage en titane. Il existe une grande disparité chez les fabricants par rapport à l'étiquetage pour la réutilisation. Certains spécifient un usage unique, d'autres permettent 20 voire 50 réutilisations des pointes de phaco. Dans de nombreux pays les ophtalmologistes réutilisent les pointes de phaco pour plusieurs procédures chirurgicales en les nettoyant et en les restérilisant.

Une étude américaine de 2016 réalisée par Tsaousis et al. au *Moran Eye Center* dans l'Utah a évalué 8 pointes de phaco jetables et réutilisables après 10 procédures de nettoyage et de stérilisation.[67] Aucun changement morphologique significatif n'a été observé en microscopie électronique et en spectrométrie à rayon X.

Les auteurs ont dans une autre étude publiée en 2017 testé 8 pointes de phaco de 3 fabricants en utilisant un modèle ex vivo de cataracte porcine.[68] Ils ont simulé 5 interventions en employant des ultrasons continus prolongés (environ 2 minutes) dans ces cataractes porcines de densité variable et ont ensuite analysé en microscopie électronique et en interférométrie les pointes de phaco.

Que les pointes de phaco soient étiquetées réutilisables ou à usage unique, dans ce modèle expérimental il n'y avait pas de différence significative en termes de dommage structurel (micro fractures, déformation, fissure, rupture) avant et après la procédure. Les auteurs ont remarqué une tendance à l'augmentation de la rugosité de la surface à l'ouverture de la pointe après les multiples procédures.

Ainsi les résultats de cette étude suggèrent que l'étiquetage des pointes de phaco en titane pour un usage unique ou pour 20 ou 50 utilisations par les fabricants pourrait être arbitraire.

1.1.2.5.3 Le « modèle Aravind »

1.1.2.5.3.1 Présentation

Le *Aravind Eye Care System* présent dans l'état Indien du Tamil Nadu est un groupe de 11 hôpitaux spécialisés en Ophtalmologie. Il a développé un modèle de soins innovant et efficace centré sur l'efficacité en termes de temps mais également de ressource pour répondre à une mission : éradiquer la cécité évitable en Inde. La cataracte est la première cause de cécité évitable en Inde.[33]

Il s'agit du plus grand réseau de soins ophtalmologiques au monde : 475000 chirurgies oculaires y sont réalisées chaque année.[33] Le système Aravind, avec ses instruments réutilisables et son modèle pour la chirurgie sert d'exemple pour une

chirurgie de la cataracte plus durable. Ils réalisent 1000 chirurgies de cataracte par jour avec 60% des actes réalisés gratuitement ou à un moindre coût à une patientèle pauvre.[33] Le modèle Aravind est reconnu pour son succès financier et social, mais également pour son empreinte environnementale.[33] Leur taux de complication (en particulier l'endophtalmie post-opératoire est de 1 pour 2942 phacoémulsifications soit 0,03% des chirurgies) est comparable à celui retrouvé dans des études occidentales.[19] De nouvelles données ont été publiées par le Système Aravind. Ils rapportent un taux d'endophtalmie de 0,02% sur plus d'un million de cataractes consécutives avec une prophylaxie composée de l'instillation d'antibiotiques topiques et de l'injection intra-camérulaire d'antibiotiques.[35]

1.1.2.5.3.2 La chirurgie de la cataracte

Les chirurgies de la cataracte ont lieu dans une grande salle commune avec 1 chirurgien et 1 microscope opératoire pour 2 tables opératoire. Pendant que le chirurgien opère un patient, l'autre patient est préparé par les assistants. Dès que l'acte est terminé le microscope est tourné sur l'autre table et le chirurgien peut procéder à l'autre intervention. Le temps peri-opératoire est réduit au maximum.



Figure 12 Bloc opératoire au Aravind Eye Hospital dans le Tamil Nadu Inde d'après Thiel et al.[3]

Il est intéressant d'observer de près leur modèle sur la chirurgie de la cataracte[3] : les instruments en métal, seringues et pointes de phaco qui rentrent en contact avec le patient sont retiré du bloc opératoire après chaque cas, lavés à la main dans un bain osmosé inversé et stérilisé avec un cycle d'autoclave flash de 30 minutes. Ces outils stérilisés dans ces cycles rapides sont réutilisés le jour même. A la fin de la journée opératoire, ces instruments sont lavés à la main, stérilisés par ultrasons et mis dans un cycle long d'autoclave d'une heure pour être utilisés les autres jours. Certains instruments plus gros comme la pièce à main ne sont stérilisés qu'à la fin de la journée.

Les gants du chirurgien et de l'aide opératoire sont lavés entre chaque cas en utilisant un gel antiseptique et jetés après 10 cas. D'autres items comme les champs en plastique de l'écran et du plateau de la machine à phaco sont jetés à la fin de la journée. La casaque, la charlotte, le masque, les chaussures de même que le drap du patient sont lavés à la fin de la journée.

Le système Aravind utilise aussi l'ensemble des médicaments (collyres antibiotiques, anesthésiques locaux, sérums salés isotoniques) sur plusieurs patients jusqu'à ce que le flacon ou la bouteille soient vides ou jusqu'à la fin de la journée. Les chirurgiens, infirmières et tout le personnel du bloc opératoire sont formés à connaître la destination de chaque déchet afin de le jeter dans la poubelle adéquate (DASRI, DASAOM, recyclable).

Comme 25% du poids des déchets de la chirurgie de la cataracte dans ce système provient de l'emballage et de la notice de l'implant intra oculaire Aravind travaille avec un fabricant (Aurolab) pour réduire ces déchets.[3]

Comparé aux Etats-Unis et à l'Angleterre le modèle Aravind permet donc d'obtenir des taux d'infections comparables pour un budget opératoire de l'ordre de 1/10^{ème} et un impact environnemental de l'ordre de 1/20^{ème}. [33]

Les pays développés ont cependant des normes de sécurité ne permettant pas de répliquer le modèle Aravind dans son intégralité. Les autorités de régulations ont en tête la sécurité du patient et les attentes des sociétés et des populations ne sont pas comparables. Néanmoins des ophtalmologistes, notamment aux Etats-Unis s'en inspirent : certains ont diminué le temps peri-opératoire en travaillant sur 2 salles de bloc, certains ont minimisé les consommables dans les packs à usage unique et même opté pour des consommables chirurgicaux réutilisables. Certains utilisent des

processus de stérilisation flashs permettant de réutiliser les instruments le même jour si la procédure est validée par le fabricant : *Immediate Use Sterile Supplies (IUSS)*.

Une récente étude s'est intéressée à l'aspect « cout-efficacité » de la chirurgie de la cataracte du modèle Aravind.[33]

Le coût moyen d'une chirurgie de la cataracte par phacoémulsification dans le système de soin Aravind revient à 120 dollars américains (avec 95 dollars de coûts directs lié à l'acte en lui-même se répartissant en 49 dollars de cout médical moyen, 13 dollars de coût lié à l'implant fabriqué en Inde, 11 dollars pour les consommables et 16 dollars pour le coût du travail réparti en 2 dollars par cas pour le chirurgien et 14 dollars collectivement pour l'ensemble du staff et 25 dollars de coûts indirects liés au travail, la nourriture et le temps de travail manqué).

Aravind s'attache à travailler avec des fabricants Indiens afin de diminuer les coûts. De plus ils emploient des professionnels paramédicaux qui réalisent la majorité des services pré et peri-opératoires (ils expliquent les détails de la chirurgie au patient et réalisent l'ensemble des soins pré et post opératoires). Cela permet d'optimiser le temps des chirurgiens, moins nombreux, qui peuvent s'affairer uniquement à l'acte chirurgical. Cependant en occident le patient s'attend à développer une relation de confiance avec le chirurgien avant l'opération et serait moins susceptible d'accepte ce genre de pratiques.

Pour optimiser le temps, chaque chirurgien travaille sur 2 tables opératoires, ce qui lui permet des rotations rapides entre chaque patient et permet au chirurgien de pratiquer plus de 2000 chirurgies de cataracte par an.

En utilisant ces données et celles de la prévalence estimée de la cécité ou de la basse vision en lien avec la cataracte en population générale ils ont calculé qu'en éliminant la cécité ou la basse vision lié à la cataracte en opérant 1 œil cela coûterait 2,6 milliards de dollars. En sachant que la baisse de vision voire la cécité secondaire à la cataracte affecte la qualité de vie, la vie au jour le jour, la productivité économique et favorise les comorbidités (chutes etc..), sa prise en charge apporterait un bénéfice à la société de l'ordre de 16 milliards de dollars soit un gain net de 13,6 milliards de dollars.

Les facteurs contribuant à un rapport cout-efficacité intéressant du modèle Aravind reposent sur le fait que les instruments et consommables utilisés sont fabriqués en

Inde à bas coûts, ils bénéficient d'une importante force de travail spécialisée et de protocoles standardisés avec moins d'obstacles législatifs et culturels qu'en Occident.

1.1.2.5.3.3 Un modèle d'inspiration ?

L'Inde est un point de comparaison intéressant pour l'Occident car c'est un pays qui a moins de restrictions et de régulations sur l'utilisation des instruments et des produits médicaux et sur la gestion des déchets. Ainsi des structures à ressources limitées peuvent être de bons exemples pour des systèmes médicaux de pays développés qui cherchent à devenir plus respectueux de l'environnement.

Bien que les obstacles réglementaires et les différences culturelles ne permettent pas l'adaptation du modèle Aravind en Occident, le succès de ce modèle qui remet en question les procédures médicales strictes en vigueur chez nous permet cependant de questionner nos pratiques : avons-nous des standards de sécurité trop élevés ? Qui seraient ainsi responsables d'un budget et de la création de déchets plus importants sans preuves formelles d'une supériorité scientifique ? Ne nous focalisons-nous pas trop sur l'usage unique ? La réflexion est ouverte.

1.1.2.6 L'économie circulaire

L'« Economie circulaire » vise à changer de paradigme par rapport à l'« Economie linéaire », en limitant le gaspillage des ressources et l'impact environnemental des produits.

Le modèle d'Economie linéaire consiste à extraire, produire, consommer et jeter. De nombreux auteurs considèrent que ce modèle ne permet plus d'appréhender un futur raisonnable. Les travaux du programme des Nations unies pour l'environnement montrent notamment que par la conjonction du développement démographique, de la croissance de la consommation dans les pays développés et de l'aspiration des pays émergents à un modèle de consommation similaire, le niveau de consommation des ressources naturelles sera inacceptable avant la moitié de ce siècle.[69] Il faut selon

eux passer à un modèle axé sur une absence de gaspillage et une augmentation de l'intensité de l'utilisation des ressources tout en diminuant les impacts environnementaux.

L'économie circulaire peut se définir comme un système économique de production qui, à tous les stades du cycle de vie des produits (biens et services), vise à augmenter l'efficacité de l'utilisation des ressources et à diminuer l'impact sur l'environnement tout en développant le bien être des individus.[70]



Figure 13 Schéma de l'Economie circulaire d'après l'ADEME[70]

Ce modèle prend en compte 3 champs : la production et l'offre de biens et de services, la consommation au travers de la demande et du comportement du consommateur, et la gestion des déchets.

Les 7 piliers de l'Economie circulaire sont :

L'approvisionnement durable : il concerne le mode d'exploitation/extraction des ressources visant une exploitation efficace des ressources en limitant l'impact sur

l'environnement notamment dans l'exploitation des matières énergétiques et minérales (mines et carrières) ou dans l'exploitation agricole et forestière. Il privilégie également l'utilisation de matériaux fait à partir de ressources qui ne s'épuisent pas et des distances producteurs-consommateurs courtes.

L'écoconception : elle vise, comme décrit plus haut, dès la conception d'un procédé, d'un bien ou d'un service, à prendre en compte l'ensemble du cycle de vie en minimisant les impacts environnementaux (notamment en réduisant la quantité et l'impact des matériaux, en optimisant les processus de fabrication, en optimisant la logistique, en allongeant la durée de vie des produits, en optimisant leur emballage).

L'écologie industrielle et territoriale, dénommée aussi symbiose industrielle. Elle constitue un mode d'organisation interentreprises par des échanges de flux ou une mutualisation de besoins. Pilier de l'économie circulaire, l'écologie industrielle et territoriale vise à optimiser les ressources sur un territoire, qu'il s'agisse d'énergies, d'eau, de matières, de déchets mais aussi d'équipements et d'expertises, via une approche systémique qui s'inspire du fonctionnement des écosystèmes naturels.

L'économie de la fonctionnalité, privilégie l'usage à la possession et tend à vendre des services liés aux produits plutôt que les produits eux-mêmes.

La consommation responsable doit conduire l'acheteur, qu'il soit privé ou public, à effectuer son choix en prenant en compte les impacts environnementaux à toutes les étapes du cycle de vie du produit (biens ou service).

L'allongement de la durée d'usage par le consommateur conduit au recours à la réparation, à la vente ou don d'occasion, ou à l'achat d'occasion dans le cadre du réemploi ou de la réutilisation.

Le recyclage vise à utiliser les matières premières issues de déchets.

En plus des critères traditionnels de sélection et d'achat de dispositifs médicaux qui incluent la sécurité, l'efficacité et le coût, la prise de conscience croissante des impacts négatifs de la pratique des soins de santé sur l'environnement et la santé publique appelle à l'inclusion de critères de cycle de vie dans le processus de sélection des produits. Cette réflexion s'articule parfaitement avec une démarche d'économie circulaire.

1.1.2.7 La problématique de l'usage unique

1.1.2.7.1 Généralités

Les consommables médicaux à usage unique se sont démocratisés et ont pris une place majoritaire dans certains actes de soins aux dépens des consommables réutilisables au cours des dernières décennies.

Les critères de sélection et d'achat des dispositifs médicaux incluent généralement la sécurité pour les patients et pour le personnel, l'efficacité et la facilité d'utilisation, ainsi que le prix d'achat. Sur la base de ces critères les DM à usage unique supplantent de plus en plus les dispositifs réutilisables. Il faut également noter la facilité d'utilisation en termes logistiques (livraison, stockage, utilisation, élimination), il n'y a pas de problématique de lavage et de stérilisation, ni de problématique d'usure du matériel.

Ils sont cependant responsables d'une quantité de déchets important de par leur caractère jetable. Les matériaux jetables dans les structures de soins sont responsables de 15kg de déchets par patient hospitalisé par jour aux Etats-Unis.[63]

Ils sont également responsables d'émissions polluantes non négligeables.[71]

La comparaison des émissions relatives à l'utilisation de consommables à usage unique avec les émissions résultant de l'utilisation d'instruments réutilisables ne fait pas l'objet d'un consensus international et de nombreuses études sur le sujet -aux méthodologies variées- retrouvent des résultats contradictoires.

La comparaison de l'impact environnemental des équipements réutilisables par rapport aux équipements à usage unique est un calcul complexe.

L'empreinte environnementale dépend largement de la source d'énergie locale (charbon/gaz naturel/nucléaire/énergies renouvelables) du lieu de fabrication pour les consommables jetables et du lieu de nettoyage et de stérilisation pour les consommables réutilisables. Des variations d'émissions importantes existent au niveau international avec par exemple la Chine, l'Inde, le Pakistan, l'Australie qui utilisent principalement du charbon, les Etats-Unis qui ont une énergie mixte, et

l'Europe qui a une source d'énergie plutôt nucléaire et issues de sources renouvelables.[72]

L'utilisation efficace des équipements de nettoyage et de stérilisation des instruments et consommables réutilisables est également un facteur essentiel influençant leur impact environnemental. Ainsi le nombre d'utilisation des instruments réutilisables avant de les jeter, le type de nettoyage (bas niveau ou haut niveau de désinfection) et de stérilisation (à la vapeur ou à l'oxyde d'éthylène), le taux de remplissage des machines de nettoyage et de stérilisation, etc.).[27]

1.1.2.7.2 Impact environnemental de la stérilisation

La stérilisation du matériel médical réutilisable est reconnue pour être une grande consommatrice d'énergie et de ressource en eau.

Une étude australienne de 2016 menée par McGain et al. s'est intéressée à la consommation d'énergie et d'eau du processus de stérilisation par la vapeur afin de fournir des données environnementales de base et d'identifier de possibles gains d'efficacité pour les unités de stérilisations des hôpitaux.[73]

Ils ont enregistré le compteur électrique ainsi que le compteur d'eau d'une machine de stérilisation à la vapeur toutes les 5 minutes pendant 1 an.

La consommation totale en électricité et en eau par unité de masse stérilisée en prenant en compte la phase de veille était de 1.9 kWh kg⁻¹ and 58 L kg⁻¹, respectivement. En ne prenant en compte que le cycle actif cela revient à une consommation électrique de 0.9 kWh kg⁻¹ et d'eau de 40 L kg⁻¹. La consommation quotidienne d'électricité et d'eau de l'appareil de stérilisation est équivalente à la consommation quotidienne d'électricité et d'eau de 10 ménages australiens.

Les auteurs ont par ailleurs remarqué que les cycles avaient un chargement moyen de 21.2 kg, avec 32% des cycles qui avaient un chargement inférieur à 15kg pour un chargement maximum des machines de 40kg. Ainsi les machines n'étaient pas remplies au maximum ce qui avait pour résultat de majorer la consommation en eau et en électricité par unité de poids stérilisé.

L'utilisation d'électricité pendant les cycles de stérilisation était de 60% du total alors que pour l'eau elle était de 79%. L'état de veille de la machine consommait donc 40% de l'électricité et 21% d'eau (à l'état de veille la machine garde une température ambiante élevée afin de produire rapidement de la vapeur en cas de chargement).

Attention en fonction du taux de chargement de la machine la consommation peut être extrêmement variable : 3 kWh kg⁻¹ d'électricité et 200 L kg⁻¹ d'eau, respectivement, pour un chargement de 5 kg à 0.5 kWh kg⁻¹ et 20 L kg⁻¹, respectivement, pour un chargement de 40 kg (chargement maximum).

Les gros équipements de stérilisation des hôpitaux consomment jusqu'à 1000 litres d'eau par cycle d'utilisation.

Les auteurs tirent donc de cette étude la conclusion qu'une partie importante de la consommation électrique et d'eau intervient pendant une phase de veille prolongée et que le taux de remplissage de la machine influence considérablement la consommation par unité de produit stérilisé. Ainsi les auteurs préconisent d'éteindre les machines en veille et d'optimiser le chargement des machines. Ils fournissent des données utiles pour de futures analyses de cycles de vie d'instruments réutilisables stérilisés à partir de machines utilisant de la vapeur d'eau. De plus, les auteurs appellent les acheteurs à regarder les consommations d'eau par cycle des différentes machines pour réduire leur consommation.

1.1.2.7.3 Impact environnemental du matériel médical à usage unique et réutilisable : des résultats contradictoires avec une tendance en faveur du réutilisable.

McGain et al. ont comparé en 2010 l'impact carbone des plateaux d'anesthésie à usages uniques et réutilisables,[74] et en 2012 les kits de pose de cathéter veineux centraux à usages uniques et réutilisables.[75]

Les résultats de ces études ont montré que les équipements réutilisables avaient un impact carbone similaire voire un impact plus important que ceux à usage unique (en Australie).

Les plateaux d'anesthésie à usage unique conduisaient à l'émission de 15% de CO₂ de plus que les réutilisables, ce qui était considéré comme marginal selon les auteurs.

Cependant le pack jetable coûtait deux fois plus cher, et entraînait l'utilisation de 3 fois plus d'eau pour sa fabrication. L'ajout de coton et de papier dans le pack doublait l'impact carbone et l'impact en eau du pack. Les plateaux d'anesthésie réutilisables de cette étude avaient une durée de vie d'environ 300 lavages.

Les kits de pose de cathéter à usage unique étaient responsables de l'émission de 3 fois plus de CO₂ et de l'utilisation de 10 fois plus d'eau. 70% de ces émissions de CO₂ étaient dues à l'étape de stérilisation.

L'auteur justifie ses résultats en soulignant que le charbon est la principale source d'électricité en Australie. Dans la discussion il invite les unités de stérilisation à diminuer leur consommation en eau et en Energie.

McGain et al. ont comparé en 2017 l'impact carbone, le coût et la consommation en eau des équipements anesthésiques réutilisables et à usage unique.[76] Ils ont comparés les sources de production d'Energie en Australie, Aux Etats-Unis et en Europe pour vérifier si leurs résultats (en Australie) étaient transposables à d'autres régions du monde ce qui est très pertinent pour ce type d'étude.

Pour un hôpital Australien avec 6 blocs opératoires, le gain financier annuel du passage de l'usage unique au réutilisable des équipements d'anesthésie est de 32033 dollars Australiens (soit une baisse de 46%). En Australie l'utilisation de 100% d'équipements anesthésiques réutilisables augmente de 9% les émissions de CO₂ par rapport aux équipements à usage unique. En utilisant le mix énergétique Européen les auteurs ont retrouvé une réduction des émissions de CO₂ de 84%, alors qu'aux Etats-Unis cela amènerait à des réductions de 48%. Pour ce qui est de l'utilisation de l'eau les auteurs retrouvent un doublement de la consommation d'eau pour les équipements réutilisables par rapport aux équipements jetables.

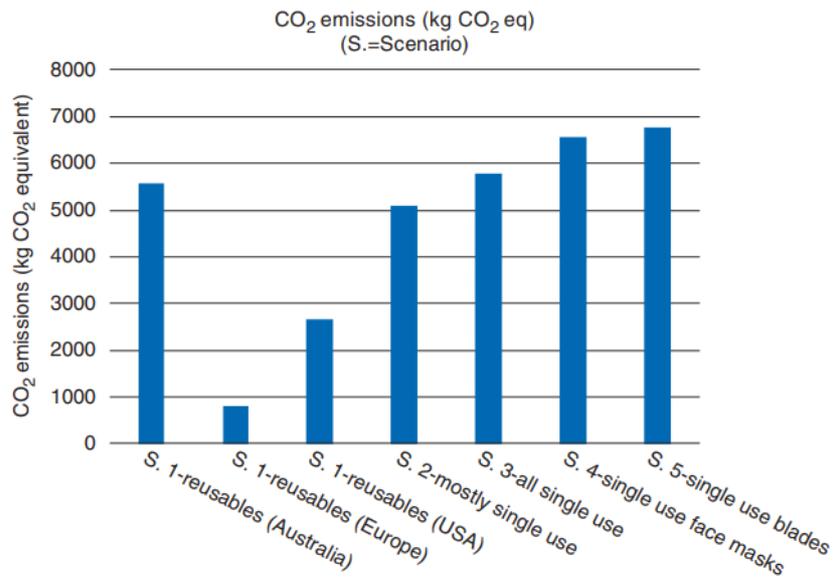


Figure 14 Emissions de CO₂ en fonction du type de matériel anesthésique utilisé (réutilisable ou jetable) et du lieu d'utilisation (Europe, Australie, ou Etats-Unis) d'après McGain et Al[76]

Une démarche très pertinente des auteurs a été de calculer la réduction relative des émissions de CO₂ liée à la fabrication en Europe de matériel à usage unique. Ils ont retrouvé une réduction de 18% par rapport à une fabrication asiatique. La réduction des émissions de CO₂ pour des instruments à usage unique fabriqués en Europe n'était pas aussi importante que d'utiliser du matériel réutilisable car deux procédés essentiels à la fabrication d'objets à usage unique requièrent des sources d'énergie polluantes (le charbon métallurgique utilisé pour la fabrication du métal et l'utilisation de pétrole et de gaz pour la fabrication du plastique).

Eckelman et Al ont comparé en 2012 l'impact environnemental du masque laryngé réutilisable en silicone et jetable en PVC aux Etats-Unis en utilisant de nombreux facteurs d'impact.[77] Ils ont retrouvé un moindre effet environnemental dans presque toutes les catégories avec l'utilisation des masques laryngés réutilisables. Cette réduction d'impact était d'environ 50%. Le fait que le matériel jetable était en PVC a influé sur les résultats selon les auteurs. La consommation d'eau était cependant plus importante pour le masque réutilisable.

Cette étude retrouve un résultat intéressant concernant l'impact sur la toxicité humaine, comprenant les effets cancérogènes et non cancérogènes. Dans cette catégorie le dispositif réutilisable est responsable de 5% de l'impact du dispositif

jetable. La majeure partie de cet impact se situe dans l'étape de polymérisation du PVC (60%) et dans l'étape d'incinération du PVC (15%).

De même Sherman et Al ont retrouvé en 2018 que l'impact carbone des poignées et lames de laryngoscopes réutilisables était respectivement 20 fois et 7 fois moins important que ceux jetables aux Etats-Unis.[78] Concernant l'ensemble des facteurs environnementaux, l'utilisation de poignées et de lames de laryngoscope jetables était la pire option dans tous les catégories d'impacts, le métal à usage unique était pire que le plastique. Les instruments réutilisables coutaient moins cher que les jetables. Les auteurs font une remarque intéressante concernant l'utilisation de métal à usage unique. Ils rapportent qu'en raison de l'intensité énergétique de l'extraction et du raffinage des métaux (fer, chrome, nickel), les DM en acier inoxydables produisent beaucoup plus d'émissions de GES que les alternatives en plastiques.

Sanchez et Al ont montré en 2020 que les brassards de tensiomètre réutilisables étaient meilleurs que les réutilisable d'un point de vue environnemental avec un facteur 40.[79]

Une revue de cinq études conduite en 2012 par Overcash et Al dans différents pays a cherché à comparer le textile médical réutilisable et jetable.[80] Cette étude compare les casaques chirurgicales et les champs opératoires jetables par rapport aux réutilisables sur 5 critères : la sécurité d'utilisation, le confort, le cout, l'empreinte environnementale et en termes d'emplois.

Concernant la sécurité d'utilisation les auteurs ont repris des informations du *Center for Disease Control (CDC)* qui concluait qu'il n'y avait pas de différence en terme de prévention des infections des casaques et champs réutilisables par rapport aux jetables.[81]

Les auteurs ont trouvé des données de confort équivalentes dans la littérature.

Pour le cout d'utilisation les multiples études sur le sujet retrouvent des résultats différents en fonction de la méthodologie et du pays d'étude. Les auteurs pensent cependant qu'en Occident si les tissus jetables ont pris la place des tissus réutilisables c'est qu'ils revenaient moins cher.

Sur le plan environnemental, les auteurs ont retrouvé les casaques chirurgicales et les champs de tables jetables ont un impact plus important (avec un point de comparaison fixé à 1000 utilisations) au niveau de la consommation d'Energie (+200-300%), de la

consommation d'Eau (+250-330%), des émissions de CO₂eq (+200-300%), et de la production de déchets (+750%).

Les études semblent indiquer que les textiles réutilisables créaient plus d'emplois au niveau local que les jetables (au niveau de la lingerie, de la stérilisation et du transport).

Ces différentes études montrent également que contrairement aux idées reçues les instruments réutilisables permettraient même d'économiser de réduire les couts par rapport aux instruments à usage unique.[77], [78],[79]

De ces études, il ne semble donc pas y avoir de dogme disant que les instruments jetables ou réutilisables sont responsables de plus d'émissions de manière générale. Chaque situation doit être analysée et la réponse dépend de nombreux paramètres. Il semblerait cependant que les résultats sont en faveur du matériel réutilisable en Europe par rapport à l'usage unique. Nous remarquons également que le cout ne semble pas si en faveur de l'usage unique contrairement à ce que nous pourrions penser de prime abord. Cependant il faut garder à l'idée que face à un intérêt grandissant des acheteurs pour les instruments réutilisables, les industriels peuvent adapter leur production et le design de leur produit afin de diminuer les couts de production et rendre le processus de stérilisation plus facile. De même à l'avenir les processus de stérilisation et les machines pourraient évoluer afin de réduire les émissions, la consommation d'eau et les couts. Tout ceci pourrait contribuer à rendre le réutilisable plus compétitif par rapport à l'usage unique sur de nombreux paramètres. Selon certains auteurs la solution est peut-être dans l'utilisation de packs hybrides jetables et réutilisables.[80]

1.1.2.8 La problématique des déchets

Les déchets représentent un poste de dépense non négligeables et souvent méconnu pour les structures de soins. Les déchets d'activités de soins à risques infectieux (DASRI), sont notamment responsables d'un cout énergétique et de traitement plus élevé que les autres filières de traitement des déchets (nécessité de sécurisation de la filière déchets).

En 2013 l'Agence de l'Environnement et de la Maitrise de l'Energie (ADEME) estimait à 700000 tonnes la production annuelle de déchets d'activité de soins (DAS) en France soit 3,5% de la production nationale de déchets et à 170000 tonnes le gisement annuel de DASRI.[82]

Les experts suggèrent que les DASRI ne devraient pas contribuer à plus de 15% des déchets hospitaliers.[57]

La Commission Risque Infectieux, Développement Durable et Environnement (CRIDDE) s'est saisie du sujet des DAS en 2018 en raison de l'évolution récente de la réglementation des déchets médicaux et de la diversité des pratiques au sein des unités de soins.

1.1.2.8.1 Définition des déchets médicaux

Les déchets produits par les établissements ou par les professionnels de santé quel que soit le lieu de production sont des déchets d'activités de soins (DAS).

Les DAS sont définis depuis 1997 par le Code de la Santé Publique (CSP) article R 1335-1, comme les déchets d'activités de soins sont les déchets issus des activités de diagnostic, de suivi et de traitement préventif, curatif ou palliatif, dans les domaines de la médecine humaine et vétérinaire[83].

Les DAS se composent soit de déchets d'activité de soins assimilables aux ordures ménagères (DASAOM) soit de DASRI.

Ce même article R 1335-1 précise la définition des DASRI : « Parmi ces déchets sont soumis aux dispositions de la présente section ceux qui :

1° Soit présentent un risque infectieux, du fait qu'ils contiennent des micro-organismes viables ou leurs toxines, dont on sait ou dont on a de bonnes raisons de croire qu'en raison de leur nature, de leur quantité ou de leur métabolisme, ils causent la maladie chez l'homme ou chez d'autres organismes vivants ;

2° Soit, même en l'absence de risque infectieux, relèvent de l'une des catégories suivantes :

a) Matériels et matériaux piquants ou coupants destinés à l'abandon, qu'ils aient été ou non en contact avec un produit biologique ;

b) Produits sanguins à usage thérapeutique incomplètement utilisés ou arrivés à péremption ;

c) Déchets anatomiques humains, correspondant à des fragments humains non aisément identifiables. »[83]

Cependant le guide du ministère de la santé et des sports datant de 2009, ajoute la du risque psycho-émotionnel dans la définition des DASRI (inquiétude à la vue du déchet hospitalier de la part d'un non professionnel) à la définition du CSP : « indépendamment de la notion de risques infectieux, tout petit matériel de soins fortement évocateur d'une activité de soins et pouvant avoir un impact psycho-émotionnel : seringue, tubulure, sonde, canule, drain, gant... ». [84]

Ces notions ne sont présentes dans aucun texte réglementaire.

Les DASAOM sont les DAS qui ne répondent pas à ces définitions et peuvent donc être assimilés à des déchets types déchets d'ordures ménagères classiques.

L'agence régionale de santé (ARS) et le centre de prévention des infections associées aux soins (CPIAS) des Pays de Loire ont coordonnés un travail en 2019 autour d'une réflexion sur le risque infectieux des déchets d'activité de soins (DAS).[82] Ainsi le risque psycho-émotionnel n'a pas été retenu en région Pays de la Loire dès lors que les établissements de santé justifient de la réalisation d'une démarche d'analyse de risque sur l'ensemble du processus de tri des DAS et DASRI sur la base des documents élaborés en Pays de la Loire avec le CPIAS. A noter que les DAS contenant du liquide biologique coulant ne sont pas acceptés dans la filière DASAOM. Cette position permet de réfléchir différemment sur les gestes de tri des DASRI en évaluant chaque situation au cas par cas en fonction de l'utilisation qui a été faite du DAS et non de sa nature.

La difficulté pour identifier les DASRI consiste donc à caractériser la présence d'agents infectieux dans le déchet. En pratique, il s'agit d'un dispositif porteur de l'agent microbien responsable d'une infection chez le patient. Or, le professionnel de santé est bien placé pour savoir si l'on est dans cette situation. « C'est au professionnel de santé d'évaluer le potentiel infectieux du DAS afin de l'orienter vers la bonne filière de traitement » selon le guide de l'ADEME de 2012[85]. Le professionnel de santé qui

pratique le soin semble être le plus à même d'évaluer le potentiel infectieux du DAS, par sa connaissance du patient, de la nature de l'acte et du contexte de soins.

Il existe un déchet sans statut propre à l'hôpital : le déchet issu de médicament (on entend par déchets issus de médicaments les médicaments non utilisés, périmés et les emballages primaires). En ville seulement, les médicaments non utilisés bénéficient d'un encadrement réglementaire centré sur le retour à l'officine et la prise en charge vers l'incinération par l'éco-organisme « Cyclamed ». Le déchet issu de médicament dans les établissements disposant d'une pharmacie à usage intérieur connaît une réglementation très limitée. Le Code de l'environnement distingue dans les classifications des déchets : les déchets issus de cytostatiques et cytotoxiques (anticancéreux principalement), classés dangereux ; les déchets issus de l'ensemble des autres médicaments, classés sans notion de danger. Une circulaire de 2006 spécifique aux médicaments cytostatiques et cytotoxiques prévoit que les matériels et dispositifs servant à la préparation et à l'administration suivent une filière DASRI avec incinération. Le guide de la direction générale de la santé de 2016 relatifs aux déchets liquides et aux déchets issus de médicaments propose que les médicaments non utilisés ou périmés, emballages primaires, suivent une filière menant à l'incinération (qui n'est pas nécessairement synonyme de filière DASRI).[86]

1.1.2.8.2 Le traitement des déchets d'activité de soins

1.1.2.8.2.1 DASAOM

Les DASAOM ont plusieurs modes de traitement. Nous avons décidé de développer les deux principaux, à savoir, l'enfouissement et l'incinération.

1.1.2.8.2.1.1 Mise en décharge / Enfouissement

Les décharges sont la plus ancienne manière de se débarrasser des déchets. La mise en décharge consiste à enfouir des déchets dans des grands trous appelés

« casiers », creusés à même le sol (en général argileux). Une fois déversés, un ou plusieurs tractopelles compactent ensuite les déchets mélangés pour diminuer leur volume et favoriser la fermentation des matières organiques qu'ils contiennent, en chassant l'air. L'exploitation se déroule par casiers successifs, c'est-à-dire qu'une petite zone est exploitée sur une durée relativement courte (de l'ordre d'un à deux ans), et recouverte pour ensuite passer à l'enfouissement sur une autre zone, etc. Le massif de déchet doit être régulièrement recouvert d'une couche de matériaux évitant les envols et réduisant les nuisances.[87]

Il existe 3 classes de décharges en France. Les décharges de classe 2 accueillent les déchets ménagers et assimilés. Elles sont également appelées Installation de Stockage de Déchets non Dangereux (ISDND). Ce sont ces types de décharges qui accueillent les DASAOM issus d'activités de soins.[87]

Les décharges sont équipées de systèmes de drainages et de bâches complétés par une couche de terre argileuse de 3 à 5 mètres afin d'éviter les fuites en profondeur des lixiviats (eaux qui percolent dans les déchets).[87] De plus, elles doivent être équipées de systèmes de captage des gaz. L'arrêté du 15 février 2016 relatif aux installations de stockage de déchets non dangereux établit un certain nombre de normes régissent les différentes émissions émanant de la décharge.[88]

Les lixiviats, eaux de pluie de percolation chargées en polluants peuvent parfois échapper aux systèmes mis en place et s'infiltrer plus en profondeur dans les sols et notamment dans les nappes phréatiques. Le tassement des déchets mis en décharge provoque la fermentation des biodéchets dans un milieu sans oxygène, créant ainsi des conditions favorables à l'émission de méthane dans l'atmosphère. Même équipées de systèmes de captage des gaz, les décharges peuvent ainsi émettre du méthane. D'après le CITEPA (Centre interprofessionnel technique d'études de la pollution atmosphérique), environ 16 % des émissions de méthane en France proviennent des centres de stockage de déchets ménagers.[87]

Depuis plusieurs années, la tendance est à la réduction progressive des tonnages envoyés en décharge. La loi de transition énergétique pour la croissance verte votée en 2015[89] aura pour effet de réduire significativement le nombre de décharges en France dans les prochaines années. Elle prévoit la division par deux des déchets non dangereux des déchets enfouis en 2025 par rapport à 2010.[87]

1.1.2.8.2.1.2 Incinération avec potentielle valorisation énergétique

Mode de traitement identique à celui des DASRI, développé en 1.2.8.2.1.4. Les exigences de températures du four sont moins élevées que pour les DASRI.

1.1.2.8.2.1.3 DASRI

Les DASRI n'ont que deux modes de traitement autorisés : l'incinération ou le pré-traitement par désinfection par un procédé autorisé souvent appelé « banalisation ».

1.1.2.8.2.1.4 Incinération avec potentielle valorisation énergétique

L'incinération représentait 83% du traitement des DASRI en 2012[90]. L'incinération peut se faire dans le cadre d'une co-incinération dans une usine d'incinération des ordures ménagères ou dans une usine spécifique. Il s'agit d'un traitement thermique des déchets, avec ou sans récupération de la chaleur produite par la combustion pour produire du chauffage et de l'électricité. Les prescriptions techniques principales de l'incinération des DASRI sont les suivantes : un traitement en 2 étapes : une incinération à 850°C dans un four pendant environ 30 minutes et une post combustion à la même température durant 2 secondes.

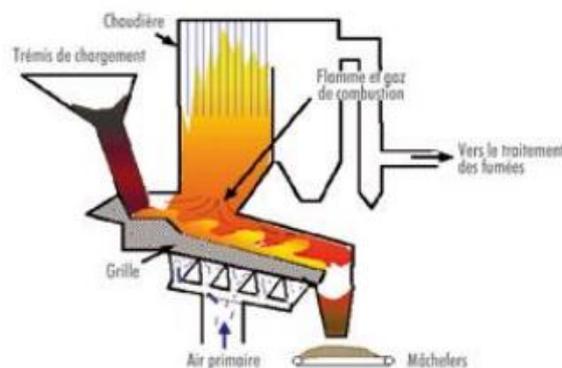


Figure 15 Schéma d'un four d'incinérateur d'après les informations fournies par Cosmolys[91]

Après incinération des déchets il reste des résidus solides appelés mâchefers. Ceux-ci sont utilisés sous certaines conditions (broyage et déferrailage) dans les travaux publics pour fabriquer les routes notamment. Les usines de traitement des DASRI disposent d'un système de traitement des fumées avec l'utilisation de nombreux filtres. Ces derniers retiennent les résidus d'épuration des fumées qui contiennent de nombreux éléments toxiques (dioxines, furannes, cadmium, arsenic, chrome, mercure, plomb) qui seront enfouis en centre de stockage de déchets dangereux. Ils représentent 3% du tonnage d'ordures ménagères traités.

1.1.2.8.2.1.5 Banalisation

Le prétraitement par désinfection représentait 17% du traitement des DASRI en 2012[90]. Il s'agit d'un pré-traitement par désinfection par un procédé autorisé souvent appelé « banalisation » dans le sens où son produit est un déchet destiné à suivre la filière classique des déchets ménagers non dangereux qui conduit à l'incinération avec ou sans récupération de l'énergie (valorisation énergétique) ou le stockage en décharge. Il peut reposer sur différentes techniques qui débutent généralement par un broyage préalable des déchets, puis suit un procédé de décontamination soit physique (thermique), soit chimique. L'entreprise Cosmolys,[91] partenaire du CHU de Lille emploie un procédé de stérilisation thermique par micro-ondes, le système Ecosteryl. Il s'agit d'une technologie de traitement, alimenté exclusivement par de l'électricité et qui n'utilise ni vapeur ni eau et ne produit aucun rejet dans l'atmosphère.

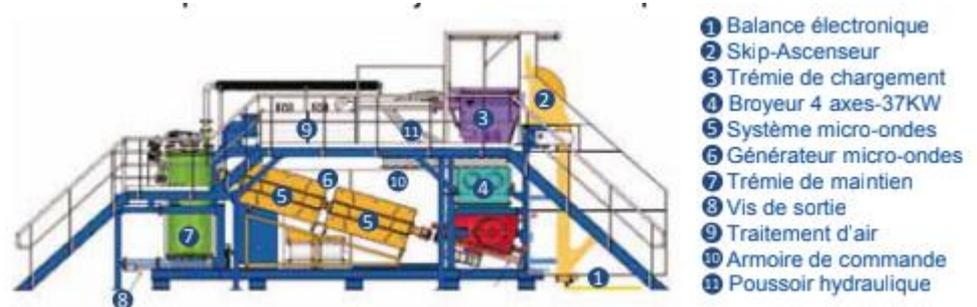


Figure 16 Schéma du Système Ecosteryl d'après les information fournies par Cosmolys[91]

A noter que le recyclage matière n'est pas interdit mais n'est pas encore réalisé à ce jour. L'entreprise Cosmolys,[91] qui traite les DASRI du CHU envisage de recycler certaines matières issues de DASRI. Nous noterons la faible pollution issue du procédé de désinfection. Ce procédé de traitement peut être réalisé in situ (au sein ou en bordure immédiate des établissements de soins) ou être centralisé (hors-site).

1.1.2.8.2.1.6 Le circuit des DAS au CHU de Lille et à l'institut ophtalmique de Somain

Au CHU de Lille les DASAOM sont transportés au niveau du centre de valorisation énergétique d'Halluin situé à 24km du CHU pour y être incinérés avec un processus de valorisation énergétique avec production d'électricité et production de chauffage pour la Métropole Européenne de Lille. Le centre d'Halluin qui traite chaque année 350000 tonnes de déchets produit l'équivalent de la consommation électrique de 25000 foyers (179392 MWh). Les DASRI sont traités à 50% en incinération au CIDEME de Douchy-les-Mines situé à 62km et à 50% en « banalisation » auprès de la société Cosmolys,[91] basée à Avelin à 18km. Les déchets une fois « banalisés » sont convoyés en enfouissement à Blaringhem.

A l'institut ophtalmique de Somain les DASAOM sont transportés au site d'enfouissement des déchets non dangereux de Lewarde situé à 10km. Les DASRI vont au CIDEME de Douchy-les-Mines situé à 12km.

1.1.2.8.3 Enjeu environnemental et économique de la réduction et du tri des déchets

1.1.2.8.3.1 Généralités

Comme énoncé plus haut, en 2013 l'ADEME estimait à 700000 tonnes la production annuelle de DAS en France soit 3,5% de la production nationale de déchets et à 170000 tonnes le gisement annuel de DASRI.[82] A l'échelle du CHU de Lille sur

l'année 2019 un budget de 1235000 euros était alloué au traitement des déchets. La gestion et l'élimination des DASRI constituent un poste de dépense important dans les établissements de santé. Le coût de traitement des DASAOM se situe autour de 150-200 euros la tonne au CHU de Lille, (cout de traitement qui est supporté par la Métropole Européenne de Lille) versus 600 euros la tonne pour les DASRI supporté par le CHU de Lille. Pour le traitement de ces dernières les émissions de gaz à effet de serre lors de l'incinération et le transport peuvent être 3 fois plus importantes au traitement des DASAOM.[92]

Le meilleur déchet reste celui qui n'est pas produit. Ainsi la prévention des déchets permet de limiter l'utilisation des ressources et les couts environnementaux et économiques liés au traitement.

La directive-cadre européenne sur les déchets n° 2008/98/CE du 19 novembre 2008 établit une « hiérarchie » à cinq niveaux entre les différentes options de gestion des déchets, selon laquelle l'option à privilégier est d'abord la prévention, suivie du réemploi, du recyclage, des autres formes de valorisation (dont énergétique) et enfin, en dernier recours, de l'élimination sécurisée.[93]

1.1.2.8.3.2 Politique de réduction des DASRI

1.1.2.8.3.2.1 L'application des nouvelles recommandations : l'exemple du CH de Cholet

Une étude de 2019 orchestrée par l'équipe opérationnelle d'hygiène hospitalière et la direction au centre hospitalier de Cholet à chercher à diminuer la quantité de DASRI générée au profit de la filière DASAOM.[82]

Un groupe de travail coordonné par le centre de prévention des infections associées aux soins (CPIAS), a mené une réflexion sur le risque infectieux de chaque déchet.[82] Le groupe a conclu que pour un grand nombre de déchets issus de soins, le risque de contamination était suffisamment négligeable pour qu'ils soient évacués dans la filière des DASAOM. En conclusion le groupe propose qu'en l'absence d'écoulement possible (déchets avec une grosse quantité de liquides biologiques) et en dehors des

déchets pouvant être porteurs d'agents biologiques pathogènes de catégorie 4 (haut risque de propagation et absence de traitement efficace ; ex : virus Ebola), des agents transmissibles non conventionnels (ATNC) et des déchets issus de certaines précautions complémentaires type Clostridium difficile, les DASRI deviennent des DASAOM. Ainsi compresses, seringues vides, pansements, équipements de protection... ne répondent plus à la définition des DASRI. Ils estiment que l'organisation actuelle des filières de prise en charge DASAOM permet de ne pas exposer la population à la « vision » de tels déchets. La seule présence de sang ou de liquide biologique sur des consommables à usage unique n'est pas un critère de classement en DASRI, il en est de même pour les gants, masques, etc.

Ce changement a nécessité de sécuriser d'avantage le circuit des DASAOM au sein du centre hospitalier (CH) inspiré du circuit des DASRI (type achat de sacs DASRI plus résistants, création d'un protocole Accident d'exposition au sang (AES), etc.). Les auteurs ont en prérequis recueillis l'accord du prestataire concernant la prise en charge de nouveaux DASAOM, ainsi que celui de l'ARS quant au traitement final (les DASAOM concernés vont être enfouis).

Les auteurs ont donc donné des directives assez simples aux personnels du CH à travers des sessions d'informations à l'échelle des services permettant leur adhésion. En cas de risque d'écoulement de liquide biologique évacuation en filière DASRI nécessaire, sinon l'évacuation s'effectue vers la filière DASAOM. Une affiche a été créée et affichée dans tous les services de soins.

Le poste de dépense des DASAOM et DASRI a diminué de 144000 euros par an entre 2015 (290700 euros) et 2017 (146290 euros). Les DASRI sont passés de 35,7% du total des DAS en 2015 à 22,7% en 2018 avec ce nouveau circuit. Aucun accident d'exposition au sang ni d'évènement indésirable en lien avec la filière DASAOM n'a été déclaré. Le prestataire n'a déclaré aucun incident.

Les auteurs ont réalisé en septembre 2016 un audit de pratiques sur un échantillon de 60kg de sacs DASRI et 60kg de sac DASAOM et a remarqué qu'une importante marge de progression existait. Encore 26% des déchets évacués en filière DASRI relevaient de la filière DASAOM. En notant que 5% des DASAOM contenaient des DASRI.

Les auteurs insistent sur le fait que ce projet est transposable à d'autres établissements de santé avec en préalable la sécurisation du circuit DASAOM (car il existe toujours un risque d'erreur de choix de filière).

1.1.2.8.3.2.2 La sensibilisation des équipes : l'exemple du CHU d'Amiens

Une étude de thèse a eu pour objectif d'évaluer, par la mesure de bénéfices écologiques et économiques, l'effet d'une formation du personnel de bloc opératoire sur les impacts environnementaux de leurs activités au CHU d'Amiens.[94]

L'étude a eu lieu au CHU d'Amiens sur 4 salles de bloc opératoire. Les auteurs ont appliqué les règles d'une évaluation des pratiques professionnelles pour observer une réduction des déchets d'activités de soins à risques infectieux (DASRI) et des consommations de gaz halogénés après formation du personnel d'une durée de 15 minutes en salle de repos du service. Au total 58 personnes ont été formées sur la base du volontariat sur un effectif de 151 personnes. De plus des pancartes, rappelant les objectifs du projet, étaient affichées à l'entrée de chaque salle de bloc. Il y avait une fiche rappelant la définition d'un DASAOM et ses exemples, ainsi qu'une fiche sur les DASRI et les exemples correspondants. Ces deux affiches soulignaient que chaque soignant était le seul à apprécier le statut du déchet en fonction du type et de la quantité de la souillure et surtout en fonction du statut infectieux du patient devant être connu par le personnel soignant.

Les auteurs ont réalisé un audit des déchets avant et après formation du personnel.

Ainsi après la formation du personnel la médiane du poids journalier des DASRI est passée de 9,8kg (7,4-11,5) à 3,8kg (1,1 – 6) ($p < 0,0001$). Cela correspond à une réduction de 60,5% de DASRI sur la durée de l'étude.

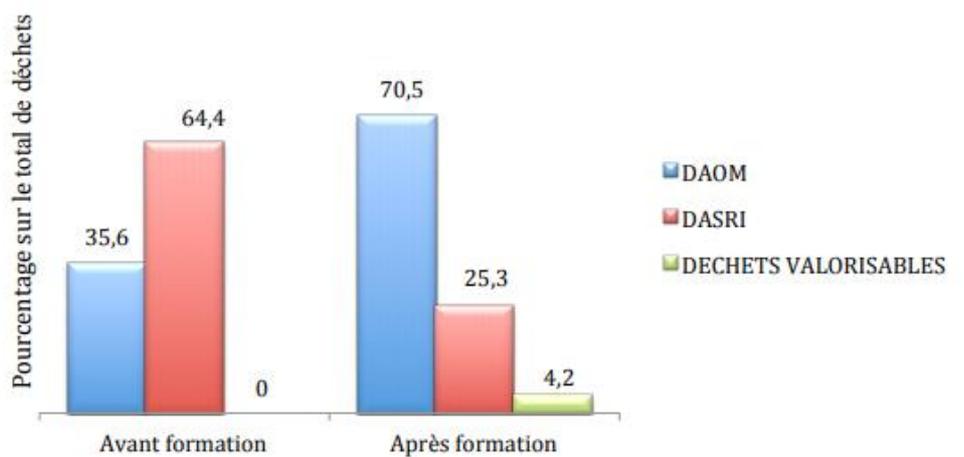


Figure 17 Evolution de la gestion des déchets avant et après formation d'après la thèse du Docteur Del Bove

Cette réduction des DASRI en extrapolant sur le bloc opératoire occasionnait une économie annuelle de 18960€ en traitement de déchets pour l'établissement et de 60 tonnes eqCO₂ (ce qui correspond à près de 60 aller-retours Paris/New-York en avion pour une personne).

1.1.2.8.3.3 Le recyclage des déchets médicaux

1.1.2.8.3.3.1 Définition et obligations légales

Le recyclage est défini par le code de l'environnement, comme une opération de valorisation par laquelle les déchets sont retraités en substances, matières ou produits aux fins de leur fonction initiale ou d'autres fonctions.[95]

Le recyclage contribue à la diminution du volume global des déchets et à la préservation des matières premières, et à la réduction des coûts économiques et écologiques.

La réglementation via le « Décret des 5 flux » impose aux établissements de santé la collecte séparative de cinq matières, hautement valorisables et contenues dans les DAS : verre, plastiques, cartons/papiers, bois, métal[58]. Ces déchets peuvent être

recyclés s'ils sont triés à la source et si et seulement s'ils sont éliminés dans la filière DAS non dans les DASRI. Les déchets de la filière DASRI ne sont pas considérés comme recyclables.

Le recyclage des déchets nécessite un partenariat avec un prestataire extérieur pour la mise en place de filières de recyclage. Le projet doit être mis en place localement avec les services responsables de la gestion des déchets et de l'hygiène de l'établissement. Il est indispensable d'informer le personnel sur ce qui peut être recyclé et le former aux différentes étapes du tri avec de l'infographie et de l'affichage. Il est également important d'organiser l'ergonomie du tri : choix des contenants et de leur emplacement, afin d'intégrer au mieux le tri dans les pratiques et ne pas venir entraver leurs bons déroulements. On peut également évaluer les pratiques professionnels une fois le projet établi.

1.1.2.8.3.3.2 Focus sur le recyclage du plastique

Les matières plastiques sont omniprésentes dans tous les secteurs d'activité et donc dans le domaine médical. En 50 ans, la production mondiale de plastiques a été multipliée par 50 et s'élève à 359 millions de tonnes par an en 2018 soit 11,38 tonnes par seconde.[96] Le plastique nécessite une grande quantité de pétrole puisque pour fabriquer 1 g de plastique il faut 1 g de pétrole. Or on estime le recyclage du plastique à 30% seulement en Europe et 15% au niveau mondial.[96]

En théorie, toutes les matières plastiques sont recyclables. En pratique, cela l'est beaucoup moins, à cause de la variété et de la complexité des plastiques existants qui entrainerait un coût de traitement non viable économiquement et un investissement technologique trop important.[96]

Afin d'identifier les résines plastiques plus facilement recyclables, la *Society of Plastics Industry (SPI)* a créé en 1988 le *Resin Identification Code (RIC)*. Le RIC, également connu du grand public, se retrouve sous forme de pictogrammes apposés sur les produits plastiques. Il classe les plastiques en 7 types.

PET ou PETE	Polyéthylène téréphtalate	
PEHD ou PEDH	Polyéthylène haute densité	
PVC	Polychlorure de vinyle	
PELD ou PEDL ou PEBD	Polyéthylène basse densité	
PP	polypropylène	
PS	polystyrène	
<u>Other</u> (autres)	+ 100 plastiques différents	

Figure 18 Classifications des résines plastiques selon le RIC

Le RIC n'est pas toujours apposé sur les instruments ou les emballages en plastique à usage médical. Ainsi pour identifier le type de plastique contenu dans un dispositif médical, ou dans un emballage on peut par exemple s'aider de la fiche « Euro-Pharmat », il s'agit d'une association de pharmaciens et d'universitaires qui met à disposition des informations sur le matériel médico-chirurgical,[97] ou de la base des données publique des médicaments.[98] Lorsque ces informations ne sont pas disponibles il faut alors procéder à des analyses physico-chimiques avec l'aide d'un ingénieur chimiste.

Les prestataires du recyclage peuvent proposer un recyclage par type de plastique ou un recyclage indifférencié. Le tri est plus facile à mettre en place dans le modèle indifférencié puisque dans ce cas de figure c'est le prestataire qui réalise le tri. Dans ce schéma de recyclage il existe des usines de tri indifférencié très modernes associant un tri par densité optique ainsi que l'utilisation de centrifugeuse et un traitement chimique.

1.1.2.8.3.3.3 Focus sur le recyclage du métal

Des initiatives locales de recyclage de dispositifs médicaux métalliques à usage unique se généralisent pour donner une deuxième vie aux instruments en métal à usage unique. Le recyclage permet de réduire les déchets, d'économiser des matières premières, des matières chimiques, de l'eau et 70 à 95% d'énergie pour les produire.[99]

En ophtalmologie le principal métal utilisé est l'acier inoxydable. Ils finissent actuellement leur cycle de vie dans la filière DAS ou DASRI, alors même qu'ils sont recyclables à l'infini.[99]

Il existe une possibilité de recyclage très intéressante via l'association « Les P'tits Doudous » qui utilise l'argent récolté par le recyclage du métal pour améliorer le vécu des enfants, des parents et des soignants à l'hôpital.[100] Une convention tripartite doit être signée entre : l'établissement, qui fait don du métal à l'association, l'association, qui récupère le métal et qui investit les gains obtenus par le recyclage au profit de la qualité de vie à l'hôpital et le ferrailleur.

Certaines étapes du processus de recyclage relèvent de l'établissement comme le tri des différents métaux et leur décontamination. Cette procédure de décontamination doit être réalisée pour tous les métaux qui ont été contactés avec des liquides biologiques du patient.[99] Cette procédure doit être écrite et validée avec l'équipe d'hygiène de l'établissement, les services logistiques et le prestataire. Il faut tremper les dispositifs dans une solution de décontamination sur leur lieu d'utilisation et les rincer avant la collecte. D'autres étapes relèvent de l'association : le stockage et l'acheminement chez le ferrailleur.

1.1.2.8.3.3.4 Limites au recyclage des déchets

En plus des limites logistiques au recyclage des déchets médicaux au sein de la structure de soins et en dehors, et du coût, le recyclage possède également des limites sur le plan environnemental. Le recyclage n'est pas exempt d'énergie ou d'émissions. Le recyclage nécessite de l'énergie pour transporter, broyer, séparer, nettoyer et

refondre le matériau, qui doit ensuite subir une extrusion, un façonnage, un formage et une finition en un nouvel objet. Dans le cas de l'acier inoxydable, il est rarement recyclé en acier inoxydable. Au lieu de cela, il est généralement recyclé en le combinant avec d'autres déchets ferreux pour fabriquer de l'acier au carbone. Par conséquent, les composants recyclés ne se substitueront pas simplement aux nouveaux. Certains auteurs indiquent que, même en supposant un recyclage à 100 %, seules des réductions « marginales » d'émissions de GES seraient atteintes par rapport à un scénario standard de gestion des déchets.[78] Ils tempèrent leur propos en ajoutant que leur démarche n'a pas pour but de décourager le recyclage et qu'il existe tout de même des avantages énergétiques et environnementaux pour le recyclage. Ils notent que le recyclage est très visible et peut accroître la sensibilisation et inspirer d'autres comportements de conservation des ressources

1.1.3 Injections intravitréennes et développement durable

1.1.3.1 Généralités

Les injections intravitréennes ont pris une place prépondérante dans le traitement de la néovascularisation choroïdienne et des œdèmes maculaires en lien avec de nombreuses pathologies rétiniennes. Ces traitements qualifiés de « Game changer » correspondent à une avancée thérapeutique majeure, ils ont changé la prise en charge de ces pathologies. Depuis l'arrivée du Pegaptanib (Macugen), le premier anti-VEGF ayant obtenu une AMM pour la DMLA en 2006 et du Ranibizumab (Lucentis) commercialisé en 2007 leur nombre n'a cessé de croître.



Figure 19 Produits injectables en intravitréen

D'après les données du Groupement pour l'élaboration et la réalisation de statistiques (GERS) le nombre d'injections intravitréennes réalisées en France chaque année a atteint 1113087 IVT en 2018 et 1267190 IVT en 2019 sans prendre en compte le Bevacizumab (Avastin) dont les données d'injections intravitréennes n'ont pas été comptabilisées au niveau national.[101] Nous remarquons une forte croissance annuelle ininterrompue depuis leur arrivée sur le marché. La France est le 2^{ème} pays au monde en termes de volume d'injection derrière les Etats-Unis.[101]

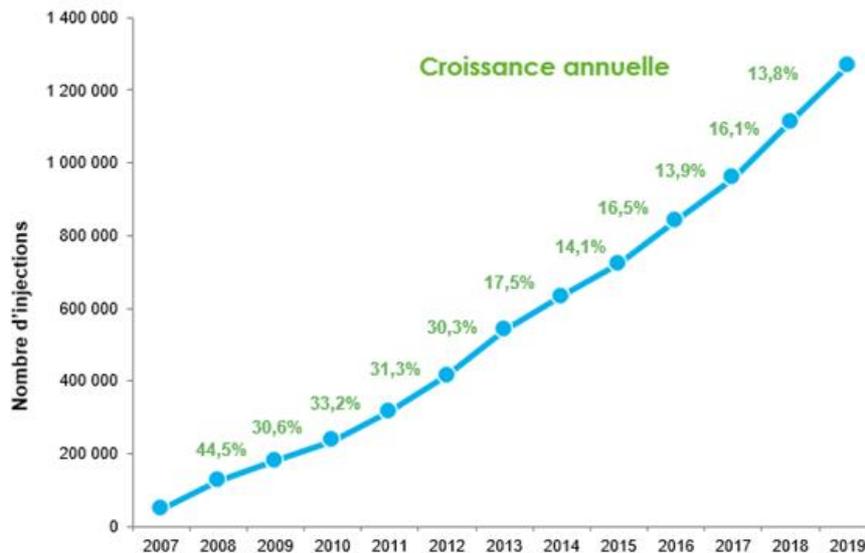


Figure 20 Croissance annuelle du nombre d'IVT en France d'après les données du GERS[101]

Les IVT sont réalisés par séries par soucis d'organisation. Au CHU de Lille nous réalisons plus d'une vingtaine d'injections par demi-journée. Sur l'année 2019 au CHU de Lille 3480 IVT ont été réalisées au bloc opératoire et 2042 en salle blanche d'unité de soins soit 5522 au total. A l'Institut Ophtalmique de Somain 7222 injections ont été réalisées en 2019. Ces informations ont été obtenues auprès des logiciels de programmation du bloc opératoire des structures.

L'injection du médicament se fait directement dans le corps vitré.

Il s'agit d'un acte qui nécessite un respect de conditions de stérilité et d'asepsie adaptées pour éviter la contamination intra-oculaire par des germes extérieurs pouvant entraîner une endophtalmie. Au CHU elles sont réalisées dans une salle blanche double en unité de consultation avec un traitement particulier de l'air approprié le Lundi et le Vendredi et au bloc opératoire le Mardi, Mercredi et Jeudi. A l'institut ophtalmique de Somain elles sont réalisées dans une salle blanche double avec un traitement de l'air adapté. Le respect des conditions d'asepsie inclus l'utilisation d'une charlotte, d'un masque, de surchaussures et d'une tenue appropriée pour l'injecteur et l'aide. L'utilisation de gants stériles par l'injecteur. Nous habillons également le patient avec une charlotte, une tenue de protection personnelle et des surchaussures. Des champs stériles de tête et de table sont utilisés. Nous utilisons également de la Povidone iodée 5% pour la désinfection cutanée locale et la désinfection conjonctivale ainsi qu'un

blépharostat pour maintenir l'œil du patient ouvert et éloigner les cils du site d'injection. Une instillation de collyres antibiotiques à la fin de l'acte était effectuée au moment de la réalisation de cette étude au sein des deux structures de soins.

Toutes ces mesures indispensables à la bonne qualité des soins sont génératrices de déchets et d'une empreinte environnementale.

1.1.3.2 Rationnel de cette étude

Durant les deux dernières décennies il y a eu une augmentation importante de l'utilisation d'instruments et de consommables à usage unique au détriment de ceux réutilisables. Ceci est lié à leur facilité d'utilisation (pas de nécessité de logistique de nettoyage et de stérilisation), un cout inférieur, et une pensée commune d'un risque infectieux moindre. Les IVT n'échappent pas à cette règle puisque la majorité des consommables que nous utilisons pour l'acte sont à usage unique.

Cependant l'usage unique est responsable de nombreux déchets, et d'une empreinte environnementale non négligeable.

Nous avons été interpellés par la quantité de déchets que nous gênerions lors des séances d'IVT, et notamment par le plastique non souillé qui était orienté en filière DASAOM voire en filière DASRI. Des objets du pack sur mesure qui ne sont pas utilisés pour la procédure finissent à la poubelle. En observant les pratiques dans différents terrains de stage, nous avons également remarqué la grande variabilité des consommables utilisés et la quantité de déchets générés ainsi que leur orientation en filière de traitement. Il est intéressant de remarquer qu'au sein du service l'utilisation des consommables et la quantité de déchets générés est différentes entre les injections réalisées au bloc opératoire et en salle blanche en unité de soins.

De plus il est intéressant de souligner que la grande majorité des consommables que nous utilisons pour cet acte a été fabriqué très loin et a voyagé sur des dizaines de milliers de kilomètres pour parvenir jusqu'à nous, a été utilisé l'espace de quelques secondes ou minutes puis a été jeté avec son imposant emballages plastique assurant sa stérilité.

Nous avons pris conscience au cours de nos lectures préparatoires à ce travail qu'il appartenait à chacun à son échelle de participer à ce défi global qu'est le réchauffement climatique. Nous avons tous quelque chose à apporter. Il s'agit, au décours de ce travail, de faire émerger une réflexion. Une réflexion pour essayer de concilier un soin, nécessitant des conditions d'asepsie rigoureuses auxquelles nous ne pouvons pas déroger, et qui sont dans l'intérêt du patient, avec des pratiques plus respectueuses de l'environnement.

Chacun (que l'on soit un individu, une entreprise, un état) est plus en mesure de réduire ses émissions polluantes si ces dernières peuvent être quantifiées, attribuées à telle ou telle utilisation, et si les effets d'interventions destinés à les réduire peuvent être estimés.

Ainsi, déterminer l'impact environnemental d'un acte médical spécifique comme les IVT permet une évaluation des émissions associées et d'identifier des opportunités de réduction efficaces.

L'industrie de la santé a besoin de données quantitatives sur émissions polluantes et les déchets pour développer des solutions durables, notamment sous la pression de ses clients les structures de soins et les médecins.

Malgré les difficultés et les incertitudes de ces estimations, elles sont de plus en plus populaires auprès de la communauté scientifique et notamment médicale.

Il n'existe aucun travail à ce jour dans la littérature scientifique sur le calcul de l'impact environnemental des IVT.

Nous nous sommes inspiré des travaux qui ont été réalisés sur le calcul de l'impact environnemental de la chirurgie de la cataracte,[3],[4],[5] et il nous a paru pertinent de transposer cette méthodologie aux IVT.

Devant le nombre d'IVT réalisées dans ces deux structures, en France et dans le monde entier (données non accessibles) et avec le recul de l'impact environnemental de la chirurgie de la cataracte qui utilise de façon similaire beaucoup de consommable à usage unique, cette analyse y trouve tout son sens.

Le service d'Ophtalmologie du CHU de Lille et l'Institut Ophtalmique de Somain intègrent le développement durable dans leur politique de qualité et sécurité des soins, en en faisant un axe fort du projet d'établissement. Ces services se posent la question

de l'impact environnemental de leurs soins. C'est dans le cadre de cette démarche, soutenue par l'Association Nationale pour la Formation permanente du personnel Hospitalier (ANFH), que nous nous sommes posés la question du développement durable pour les IVT : est-il possible de conjuguer sécurité du patient, économie et efficacité thérapeutique, tout en ayant le plus faible impact environnemental possible ? L'analyse de l'impact environnemental d'une injection intra vitréenne a été conduite en ce sens.

1.1.4 Objectifs

L'objectif principal de cette étude est de déterminer l'impact environnemental des injections intra vitréennes au CHU de Lille et à l'institut ophtalmique de Somain dans le but de sensibiliser les équipes soignantes à son impact, et par conséquent, intégrer pleinement cet acte à une démarche de développement durable.

Les résultats seront analysés et comparés au sein du service du CHU de Lille qui correspond à une structure publique de soins et au sein d'une structure privée de soins, l'Institut ophtalmique de Somain, pour le caractère multicentrique de l'étude.

Pour cela il s'agira dans un premier temps de mesurer les impacts environnementaux de ce soin en analysant un certain nombre de catégories d'impacts.

L'objectif secondaire de l'étude est d'entreprendre une démarche d'éco-conception du soin, en repensant les pratiques, afin d'améliorer les impacts environnementaux au niveau local et à plus grande échelle.

2 Matériel et méthodes

2.1 Type d'étude

Mener une analyse de cycle de vie en santé est une entreprise complexe qui nous a demandé de bien définir l'objet de l'étude, son périmètre, ainsi que la méthodologie employée.

Nous avons donc mené une étude médico-environnementale, quantitative, non interventionnelle, multicentrique. L'étude s'est déroulée dans le service d'ophtalmologie du centre hospitalier universitaire de Lille et à l'Institut ophtalmique de Somain sur 1 an et demi entre les mois de Janvier 2020 et Juin 2021.

Cette étude a été réalisée par les investigateurs de l'étude : un médecin ophtalmologiste et un interne d'ophtalmologie en collaboration avec un ingénieur chimiste formée à l'analyse du cycle de vie et d'autres membre de l'équipe de l'agence Primum Non Nocere. Cette agence réalise notamment des diagnostics et des études environnementales (développement durable, audit énergétique, bilan d'émission de gaz à effet de serre BEGES), des accompagnements stratégiques (conseils, outils, formations, écoconception des soins, partage d'expérience) et valorise les actions engagées par le Label de qualité THQSE® : Très Haute Qualité Sociale Sociétale et Environnementale.

Nous avons observé les pratiques professionnelles de réalisation des injections intravitréennes dans ces deux structures selon les habitudes de service, et nous avons réalisé une analyse de cycle de vie hybride et un audit des déchets centrés sur cet acte pour en déterminer son impact environnemental.

L'étude a été menée dans un centre universitaire publique et dans un centre privé pour refléter la différence de pratiques concernant la réalisation d'une IVT en France. De plus, les protocoles d'injections étaient différents au sein même du CHU de Lille entre le bloc opératoire et l'unité François. Ceci nous a permis d'étudier l'impact environnemental de pratiques différentes sur plusieurs indicateurs environnementaux.

2.2 Analyse de cycle de vie

L'analyse de cycle de vie comme décrit plus haut en introduction est une méthode scientifique de calcul utilisée pour déterminer les émissions liées à l'utilisation d'un produit ou d'un service tout au long de son cycle de vie. Les émissions sont classées en catégories (exemple : émissions de gaz à effet de serre) et converties dans des unités similaires (exemple : kg de CO₂ équivalent) pour en faciliter l'interprétation et les comparaisons. Nous avons utilisé la référence dans les ACV en santé qui est la norme ISO 14040 :2006.[47]

2.2.1 Unité fonctionnelle et flux de références

Dans une analyse de cycle de vie (ACV), il est nécessaire de déterminer la fonction d'un produit ou d'un service. L'analyse porte sur cette fonction principale et non sur l'objet en lui-même, c'est ce que l'on appelle l'unité de fonctionnelle. Ici l'unité fonctionnelle est « **Effectuer une injection intravitréenne** ».

Pour répondre à cette fonction au CHU de Lille, deux cas de figures sont possibles :

- Les injections se déroulent au Bloc opératoire le mardi, mercredi et jeudi après-midi.
- Les injections se déroulent dans une salle blanche du service, le lundi et le vendredi.

L'institut ophtalmique de Somain réalise les injections dans une salle blanche tous les jours de la semaine.

Enfin, dans un but d'éco-conception des soins, une injection théorique visant à minimiser les impacts environnementaux sera modélisée.

Cette étude comparera les impacts environnementaux de ces quatre scénarios. Il est donc nécessaire de définir leur flux de référence, c'est-à-dire, les moyens mis en œuvre pour répondre à l'unité fonctionnelle.

Ici les flux de référence sont donc définis ainsi :

1er scénario : une injection au bloc opératoire du CHU de Lille

2ème scénario : une injection en salle blanche au CHU de Lille

3ème scénario : une injection à l'institut ophtalmique de Somain

4ème scénario : une injection théorique éco-conçue

2.2.2 Périmètre, règles de coupures et règles d'allocation

2.2.2.1 Périmètre

Dans une ACV, l'ensemble du cycle de vie du produit ou service doit être pris en compte. Celui-ci prend en compte plusieurs étapes : l'extraction des matières premières, la fabrication du produit, son transport et sa distribution, son utilisation et enfin sa fin de vie. Le produit ou service est en effet susceptible d'avoir des impacts environnementaux sur chacune de ces étapes.

Dans notre étude, nous avons pris en compte l'ensemble des étapes nécessaires pour effectuer une injection intravitréenne, à partir du moment où le patient entre dans la salle d'injection ou le bloc opératoire jusqu'à sa sortie de la salle d'injection ou du bloc opératoire. Dans le cas des IVT les émissions incluent des sources indirectes, (avec en amont les émissions liées à la fabrication des produits et en aval les émissions liées à l'élimination des déchets) et des sources directes comme la consommation énergétique de la salle d'injection.

Les consultations pré et post injection ainsi que le transport du patient et des équipes ne sont pas pris en compte et donc exclus du périmètre de cette ACV. Les éléments ayant conduit à cette exclusion sont précisés dans le paragraphe « règles de coupure ».

Dans le schéma du cycle de vie ci-dessous, seules les étapes en police bleu-vert ont des impacts environnementaux et seront reprises par la suite dans le schéma des flux.

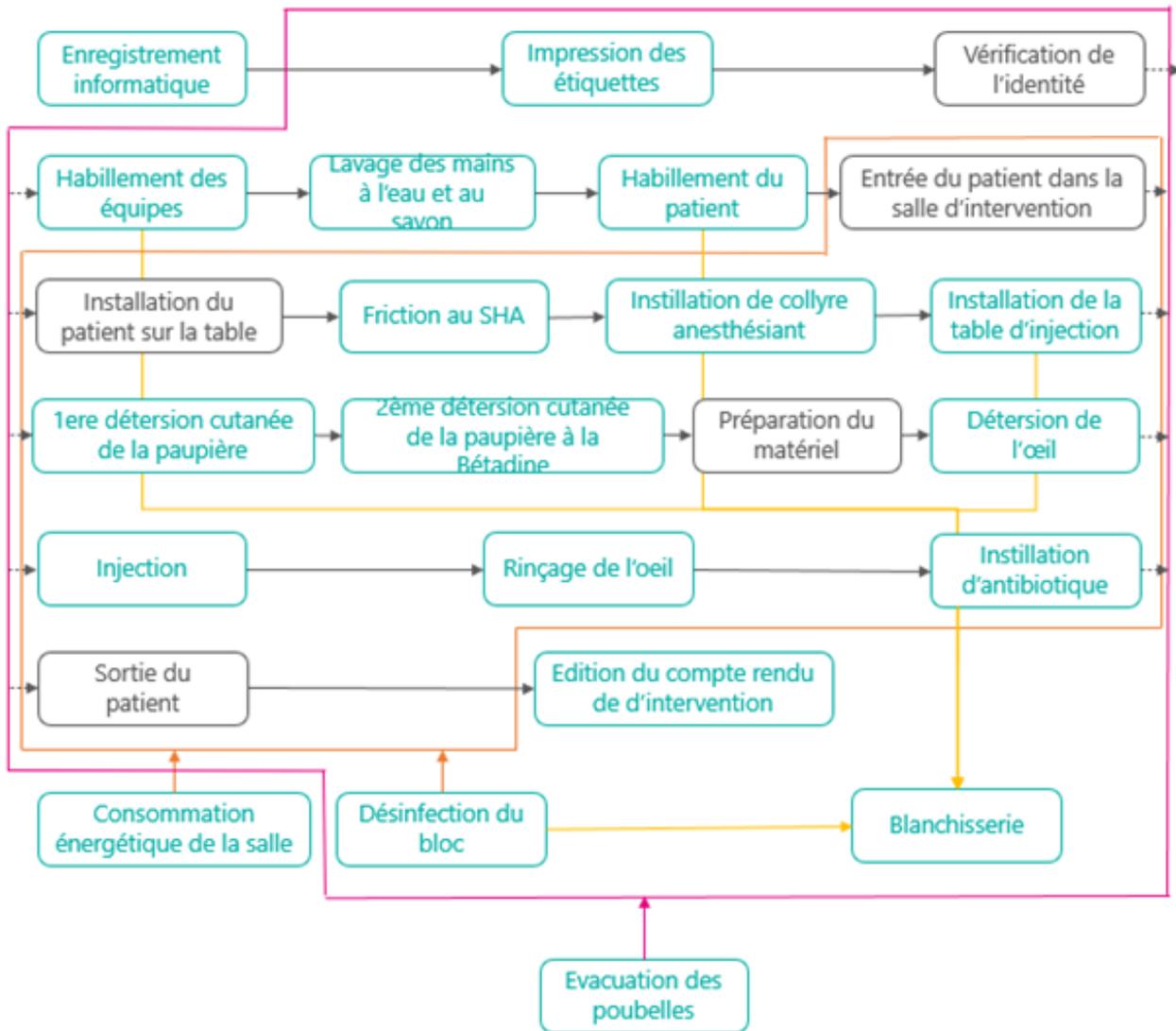


Figure 21 Schéma de cycle de vie des injections intra vitréennes

L'ordre des étapes entre les quatre scénarii sont les mêmes. Ces scénarii diffèrent entre le CHU de Lille et l'Institut ophtalmique de Somain sur les étapes de l'habillement des équipes, l'habillement du patient, la déterision cutanée des paupières, la consommation énergétique de la salle, l'installation de la table d'injection, l'injection, et l'évacuation des poubelles.

2.2.2.2 Règles de coupures

Les règles de coupures reprennent l'ensemble des éléments écartés du périmètre de l'étude. Les différentes coupures effectuées tout au long de l'analyse sont rassemblés ci-dessous.

Les éléments écartés du périmètre de l'étude sont :

- Les consultations pré et post injection pour maintenir une cohérence avec de précédentes études.[3]
- Le transport des équipes du domicile à la structure de soin pour maintenir une cohérence avec de précédentes études.[3] De plus nous avons considéré que les équipes seraient venues travailler même sans avoir à réaliser d'injections intravitréennes.
- Les processus de fabrication et les infrastructures des DM.
- L'impact environnemental inclus dans le capital d'équipement comme la table, l'ordinateur, le cahier, la machine à laver et le séchoir de la blanchisserie ainsi que l'impact environnemental inclus dans la construction et les rénovations des bâtiments. Cet impact est considéré comme négligeable rapporté à un acte dans des études faisant référence dans le domaine.[3],[8],[9]

En effet dans des études similaires sur la chirurgie de la cataracte les étapes de consultations pré et post opératoires, le transport du patient et des équipes, ainsi que l'impact environnemental inclus dans le capital d'équipement et dans la construction et les rénovations de la structure de soins n'avaient pas été prises en compte dans l'analyse. Pour plus de comparabilité nous avons décidé de les exclure.

- Les transports de matières premières jusqu'au site de fabrication et du site de fabrication jusqu'au site de distribution. Seuls les transports du site de distribution jusqu'à l'établissement de santé ont été pris en compte. Cependant, les données de transport pour le pack IVT ont été fournies. Une modélisation de ces derniers a été réalisée dans la partie résultats. Résultats et analyse afin de pouvoir estimer le taux d'écart.

Ces données ne sont pas connues et rarement communiquées par les fabricants. De plus, les praticiens ont très peu de marge de manœuvre sur ces points.

- Par manque d'information, l'énergie nécessaire aux étapes de broyage et désinfection aux microondes du processus de « banalisation » n'a pas été prise en compte.

2.2.2.3 Règles d'allocation

Une allocation permet d'attribuer une partie seulement de l'impact environnemental à une fonction d'un produit ou service. Une allocation est effectuée lorsque le produit ou service a plusieurs fonctions. Par exemple l'habillement de l'injecteur sert à toutes les injections de la session et pas à une seule injection.

Dans cette étude, les étapes d'habillement des équipes, le lavage des mains des équipes à l'eau et au savon avec une brosse chirurgicale, la désinfection de la salle sont communes à l'ensemble des injections intravitréennes effectuées pendant une session. Chaque session comporte en moyenne 20 injections. Les impacts environnementaux de ces étapes sont donc alloués à 1/20ème pour notre unité fonctionnelle « Effectuer une injection intravitréenne ».

Lors de la prise en compte du processus de lavage du linge par la blanchisserie du CHU de Lille, l'impact environnemental dû aux textiles doit être rapporté à leur durée de vie, c'est-à-dire le nombre de lavage. Ainsi on verra appliqué un facteur 1/xx à ces produits. Xx correspondant au nombre de lavage moyen du textile avant d'être jeté.

- Tunique réutilisable du personnel (xx = 40)
- Microfibre (xx = 50)
- Drap réutilisable (xx = 70)
- Blouse patient réutilisable (xx = 40)

Certains DM et matériels ne sont pas utilisés ou renouvelés de la même manière en fonction des praticiens et soignants réalisant le soin. Pour avoir une modélisation au plus près de la réalité, l'étude se base sur deux sources d'information. La première est le questionnaire du personnel ses pratiques de soin. Le deuxième est un audit des

déchets pour comptabiliser les déchets produits sur une session d'opération (environ 20 soins) et ainsi en déduire une moyenne par soin. Des ratios du type yy ont ainsi été ajoutés afin de prendre en compte le taux d'utilisation moyenne d'un dispositif médical.

- Alèse ($yy = 0,07$)
- Pansement américain ($yy = 0,54$ pour le scénario 1 et $yy = 0,4$ pour le scénario 2)
- Casaque ($yy = 0,2$)

Certains DM ou processus sont comptabilisés deux fois car utilisés par le praticien et le soignant lors de l'opération (Surchaussure, Charlotte, Tunique personnel réutilisable, lavage des mains, désinfection des mains).

Concernant les molécules injectées, plusieurs spécialités d'anti VEGF et un implant de cortisone sont utilisées sur les différents sites. Une allocation économique a été effectuée en fonction de la part de marché de chaque spécialité. Ainsi l'allocation suivante a été faite : Lucentis/Ranibizumab à 54% de part de marché ; Eylea/Aflibercept à 40% ; Avastin à 1% et Ozurdex/Dexaméthasone à 5%.

2.2.3 Collecte des données

Les données ont été collectées entre Janvier 2020 et Juin 2021 dans le service d'ophtalmologie du CHU de Lille et à l'Institut ophtalmique de Somain. Ce projet n'a pas nécessité d'accord du comité d'Ethique puisque aucune donnée de patient n'a été collectée.

Les données d'activité concernant le nombre d'injections réalisées dans chaque structure ont été obtenues avec l'aide des infirmières programmatrices du CHU de Lille et de la cadre de service de l'Institut Ophtalmique de Somain à l'aide du logiciel informatique de bloc. Ces données permettent d'extrapoler l'impact environnemental des injections au sein de la structure sur une année civile.

2.2.3.1 Données sur le transport

Le transport inclus la distance de transport en fonction du point de départ et le mode de transport. Les distances ont été déterminées en utilisant le site web GoogleMaps.[102] Il a été admis que chaque patient faisait l'aller-retour avec le même mode de transport. Nous avons repris la méthodologie de l'étude de Morris et Al qui a déterminé l'impact environnemental de la chirurgie de la cataracte au Royaume-Uni en 2012.[4] Les auteurs avaient distribué un questionnaire à 47 patients consécutifs qui avaient eu une intervention de cataracte et les auteurs avaient retrouvé une moyenne de distance similaire au-delà de 30 patients. Ainsi nous avons utilisé l'adresse des patients figurant sur leur dossier ophtalmologique pour 40 patients consécutifs pour calculer la distance aller-retour effectuée depuis leur domicile jusqu'à la structure de soins (46,84 kilomètres).

2.2.3.2 Données sur la consommation d'Energie

2.2.3.2.1 Consommation en électricité et en gaz des salles d'injection

Les consommations d'Energie des bâtiments pendant l'injection ont été calculées à l'aide de différentes sources d'informations. Nous avons dans un premier temps chronométré une injection intra vitréenne dans les 3 scénarii (Bloc opératoire du CHU de Lille, salle blanche du service d'ophtalmologie du CHU de Lille et salle blanche de l'institut ophtalmique de Somain) et avons retrouvé un temps moyen de 4 minutes entre l'entrée et la sortie du patient de la salle d'injection.

Au CHU de Lille il n'existe pas de compteur spécifique pour déterminer la consommation d'Electricité et de Gaz du bloc opératoire de l'Hôpital Huriez. Nous avons donc utilisé des données généralistes issues d'un travail qui a été mené par le groupe performance énergies de la commission ingénierie et architecture,[103] qui nous a été gracieusement fournie par l'ingénieur spécialiste des questions énergétiques du CHU de Lille. Ce groupe de travail avait été mandaté afin de calculer

les niveaux de consommations énergétiques au sein des établissements de santé. L'évaluation des consommations d'énergie a été effectuée notamment dans les Zones à Environnement Maitrisé (ZEM) (plateaux techniques, réanimation, laboratoires classés...) 4 CHU ont pu mesurer ou calculer leurs consommations d'énergie concernant les ZEM (Angers, Bordeaux, Nantes, Poitiers). La valeur moyenne de consommation s'établit à 1310 kWh/m²/an (518 kWh/m²/an pour l'électricité et 792 kWh/m²/an pour le gaz ou réseau de chaleur). Nous avons utilisé ces valeurs moyennes de consommation. La surface de la salle dédiée aux IVT au bloc opératoire a été obtenue à l'aide des plans du service qui nous ont été donnés par la cadre infirmière du bloc opératoire (24,10 m²). Nous avons donc pu obtenir les consommations en électricité et en gaz par mètre carré de la salle.

Il n'existe pas non plus de compteur spécifique de la consommation en électricité et en gaz de la salle blanche du service d'ophtalmologie du CHU de Lille et de l'Institut Ophtalmique de Somain. Nous avons donc utilisé les données fournies par l'ingénieur spécialiste des questions énergétiques du CHU de Lille et de l'institut ophtalmique de Somain sur l'historique des consommations électrique et de gaz de l'Hôpital Huriez et du bâtiment de Somain. L'Hôpital Huriez consomme en moyenne 8775 MWh d'électricité et 12154 MWh de gaz par an pour une surface utile de 72226 m². L'institut ophtalmique de Somain consomme lui en moyenne 469 MWh d'électricité et 1250 MWh de gaz pour une surface utile de 3200 m². Nous avons utilisé les données de surface des 2 salles d'injection du service en Unité François (30,40 m²) et à l'institut ophtalmique (16,8 m²) obtenues grâce à l'infirmière cadre de santé. Nous avons donc pu obtenir les consommations en électricité et en gaz par mètre carré de la salle.

Nous y avons ajouté au CHU de Lille la consommation électrique des 2 systèmes de filtration de l'air qui ont été ajoutés à ces 2 salles et qui fonctionnent lors des injections avec l'aide de la plaque informative derrière la machine qui nous donnait la puissance instantanée totale en KW.

Nous avons donc déterminé la consommation en électricité et en gaz des différentes salles d'injection pour une durée moyenne de 4 minutes. Ces données comprennent l'énergie nécessaire au fonctionnement des machines, de la ventilation, de la climatisation, de l'éclairage et du chauffage des salles d'injection.

Nous noterons que le CHU de Lille utilise 7 groupes électrogènes fonctionnant au fioul et qui sont une source d'alimentation de secours en cas de panne électrique. La

consommation du CHRU de Lille en fioul était de 99 300 litres en 2016. Ces données ne sont pas prises en compte dans l'analyse car les émissions de GES liées à la combustion du fioul représentent 320 tonnes d'équivalent CO2 soit 1% des émissions liées au poste « énergie » du CHU de Lille.

2.2.3.2 Consommation en électricité et en gaz de la machine à laver et de l'essoreuse de la blanchisserie du CHU de Lille

L'électricité et le gaz utilisés pour le fonctionnement de la machine à laver et l'électricité nécessaire au fonctionnement de l'essoreuse de la blanchisserie du CHU de Lille ont été obtenues auprès du directeur de la blanchisserie. Les calculs ayant permis l'obtention de ces consommations par unité de textile lavé et essoré sont complexes et sont présentés en annexe. Nous avons pris en compte la consommation en électricité et en gaz des machines, la durée des cycles et le chargement des machines. Les consommations ont donc été affectées à la quantité de linge traité par chargement.

2.2.3.3 Données sur l'approvisionnement

L'analyse du flux de matériel utilisé a été réalisée en observant le flux de matériel lors de sessions d'IVT au bloc opératoire et en salle blanche au CHU de Lille et en salle blanche de l'Institut ophtalmique de Somain.

Chaque matériel utilisé a été recensé. Chaque fournisseur ou fabricant a ensuite été contacté pour déterminer la composition exacte du produit (notamment le type de résine plastique pour les produits en plastique), son lieu de fabrication et les transports réalisés par le produit fini avant d'arriver jusqu'à son lieu d'utilisation.

Concernant les médicaments, la composition de l'emballage, le lieu de fabrication et le transport du produit ont également été demandés au fabricant. Les prix des médicaments ont pu être obtenus sur le Journal Officiel de la République Française (JORF) via la base de données publique Légifrance.[104]

Lorsque les données de compositions n'étaient pas obtenues nous avons bénéficié de l'expertise du spécialiste des déchets Suez pour réaliser des analyses de composition de produit. Pour les résines plastiques lorsque l'information était manquante, le « test de combustion » a été réalisé, en utilisant la couleur et l'odeur du plastique brûlé.[105]

Lorsque les lieux de production n'étaient pas transmis par le fournisseur nous avons utilisé le siège Français de l'entreprise pour déterminer la distance de transport jusqu'à son lieu d'utilisation. Lorsque le lieu était connu nous avons utilisé GoogleMaps[102] pour déterminer les distances terrestres et le site Ports.com[106] pour les distances maritimes.

Chaque matériel a été pesé soit avec une balance électronique micro-précision PCB KERN® lorsque son poids était inférieur à 100 grammes (précision à 0,5 gramme près), soit avec un robot de cuisine Thermomix Vorwerk® (reconnu pour la précision de sa balance) lorsque son poids était supérieur à 100 grammes (précision à 5 grammes près). Lorsque l'objet était composé de matériaux différents et détachables, ils étaient détachés avant la pesée (exemple d'un emballage contenant une partie en plastique et une partie en papier qui étaient détachées avant de les peser).

Nous avons pris en considération le matériel utilisé pour réaliser les injections dans chaque structure en Janvier 2020. Ainsi lorsqu'il existait des changements de références produits due notamment à des tensions d'approvisionnements nous ne les avons pas pris en compte. De même des changements de pratiques ont été observé sur la période comme la suppression de l'instillation d'antibiotiques au CHU après les injections. Cependant, comme ces pratiques avaient lieu en Janvier 2020 nous les avons donc pris en compte dans l'analyse.

Le prix de chaque objet a été obtenu grâce à la référence produit et avec l'aide des infirmières programmatrices et de la Pharmacie centrale du CHU de Lille et l'aide de la cadre de service à l'Institut Ophtalmique de Somain. Les prix étant très fluctuants car cette étude a été réalisée en période de pandémie avec des tensions d'approvisionnement et des augmentations de prix nous avons utilisé un prix moyenné sur la période de l'étude.

Les données sur le transport du linge qui partait en blanchisserie ont pu être obtenues auprès du directeur de la blanchisserie. L'impact dû à la production et à la fin de vie du linge réutilisable a été alloué sur la base de la durée de vie estimée de chaque objet

selon les données fournies par le directeur de la blanchisserie (40 lavages pour les blouses patients, 70 lavages pour les draps).

La stérilisation des objets à usage unique a été modélisée dans l'étude en fonction du mode de stérilisation (Oxyde d'Ethylène, Rayons gamma et Autoclave) et du volume de l'objet à stériliser.

Les données sur la composition de l'emballages des différentes molécules (anti-VEGF et implant de dexaméthasone) ont été obtenues auprès des fabricants. Les prix des différentes molécules ont été obtenus sur le JORF via la base publique LégiFrance.[104] Elles sont données hors-tax. La part de marché des différentes molécules ont été obtenus auprès des laboratoires Novartis et Bayer.

2.2.3.4 Données et audit des déchets

Nous avons réalisé un audit des déchets. Nous avons trié et analysé chaque flux de déchets (DASAOM, DASRI, recyclable) de 4 séances d'injection (20 injections en moyenne par session) sur chaque site (Bloc opératoire du CHU de Lille, salle blanche du service du CHU de Lille et salle blanche de l'Institut Ophtalmique de Somain). Chaque flux de déchets était pesé et chaque composant était trié, classé par famille d'objets et décompté. La pesée des déchets s'est effectuée sur place : chaque sac poubelle était pesé isolément à l'aide d'une balance pèse-personne d'une précision de 0,1 kilogramme. Le nombre exact d'injections réalisées par session était pris en compte en utilisant à la fois le listing des patients et les comptes rendus opératoires pour prendre en considération les patients ajoutés en dernière minute, les patients annulés ou non venus et les injections bilatérales.

Il était demandé aux équipes préalablement à la fouille des déchets de veiller à ce qu'il ne reste pas de déchets liés à d'autres actes précédant la session d'IVT et de veiller à ce qu'aucun sac ne soit jeté afin de bien prendre en considération l'ensemble des déchets qui étaient mis dans un endroit de stockage et fouillés le soir de la session.

Une visite sur le site d'incinération des DASAOM, sur le site de « banalisation » des déchets et sur le site de recyclage du CHU de Lille a été effectuée. Ceci a permis de vérifier le traitement et l'élimination des déchets dans ces flux spécifiques et obtenir

des informations afin de créer des modèles spécifiques à chaque flux pour l'élimination des déchets. Des informations sur les distances de transports des déchets effectués par camions et sur les consommations énergétiques des machines permettant le traitement des déchets ont ainsi pu directement être obtenues sur place.

Des informations relatives au traitement des déchets ont pu être obtenues auprès des services de gestion des déchets des différentes structures de soins pour créer les modèles de fin de vie. A l'institut Ophtalmique de Somain, les DASAOM vont en enfouissement en décharge sur un site de Lewarde (10 km). Les DASRI sont incinérées à Douchy-les-Mines (12 km). Il n'y avait pas de filière recyclage lors de l'étude. Au CHU de Lille les DASAOM vont en incinération à Halluin (24 km) avec une filière de valorisation Energétique (fabrication d'électricité et projet de chauffage municipal en cours). Les DASRI vont à 50% en incinération sur le site de Douchy-les-Mines (62 km) et à 50% en Banalisation sur le site d'Avelin (18 km). La filière recyclage du papier et carton mise en place uniquement au bloc opératoire était orientée vers un site à Wambrechies (19 km).

2.2.3.5 Hypothèses

Dans ce type d'étude une quantité importante d'information doit être collectées et chaque interlocuteur (fournisseur, fabricant, entreprise de traitement des déchets, etc..) ne fournit pas toujours les informations demandées. Ainsi un nombre plus ou moins important d'hypothèses doit être émises apportant un degré d'incertitude supplémentaire aux résultats.

Lorsqu'un objet était composé de plus d'une matière et que nous n'avions pas la possibilité de séparer les différents matériaux, nous avons considéré que chaque matière avait une part similaire dans la composition de l'objet. Par exemple un objet composé de plastique et de verre non détachable nous considérons qu'il est composé à 50% de plastique et à 50% de verre.

Lorsque le lieu de fabrication d'un objet et son transport ne nous était pas transmis par le fournisseur ou le fabricant, nous avons considéré le siège de l'entreprise comme le lieu de fabrication et le point de départ pour le transport. Ceci est susceptible de

sous-estimer de façon non négligeable les émissions d'objets fabriqués assez souvent en Asie.

Concernant la modélisation du transport, nous avons effectué le calcul en prenant le modèle d'un véhicule léger en se référant aux travaux du Docteur Thomann. Il avait montré lors de sa thèse en 2018, réalisée au CHU de Lille, que 48,23% des patients venant pour une IVT venaient en VSL, 30,48% venaient en véhicule personnel accompagné et 9,21% venaient en ambulance. Ainsi seulement 9,41% des patients venaient en transport en commun et 2,35% à pied ou à vélo.[107] Nous avons par simplicité modélisé le fait que la plupart des patients venaient soit en véhicule sanitaire léger (VSL), Taxi, ambulance ou accompagné par un proche en véhicule personnel.

2.2.4 Modélisation des inventaires de cycle de vie

Une analyse de cycle de vie utilise différents types de données pour la modélisation. Certaines données sont directement collectées (comme la consommation en électricité des machines qui peut être mesurée directement sur place). Cependant la plupart des données d'ACV ne sont pas directement mesurées mais obtenues à partir d'inventaires de cycle de vie, calculés comme une moyenne de plusieurs sites de production. Les données moyennes de l'Industrie sont souvent utilisées dans la modélisation des ACV car la collecte de l'ensemble des données rendrait la plupart des ACV irréalisables (on ne peut pas se déplacer dans chaque usine ayant participé à la fabrication d'un produit dont nous réalisons l'ACV). Ces données ont cependant une plus grande incertitude associée que les données mesurées directement.

L'inventaire de cycle de vie a été élaboré de façon hybride. Pour la plupart des données, la méthode « *Process-Based* » décrit en 1.2.3.2.1.1.2 a été employée. Nous avons fait correspondre les données collectées dans les sous parties transport, Energie et approvisionnement avec une base de données internationalement reconnue pour son exhaustivité et sa robustesse (Ecoinvent version 3, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Zurich, Suisse).[108] Il s'agit d'une base de données internationale contenant des milliers de produits, avec des méthodologies

transparentes, qui est largement utilisée par les spécialistes de l'ACV dans de nombreuses études médicales.[3],[8],[9],[63]

Nous avons utilisé le logiciel SimaPro life cycle assessment software (PRé Consultants, Amersfoort, Pays-Bas).[109] SimaPro est l'un des logiciels d'évaluation et de modélisation de cycle de vie les plus couramment utilisés au monde avec une expérience de plus de 30 ans.[109] Il qui exploite la base de données EcolInvent.[47] et normalise les données au niveau international. Le logiciel peut être utilisé pour une variété d'applications, telles que les rapports de développement durable, l'empreinte environnementale, la conception de produits, la détermination d'indicateurs de performance clés.

Toutes les sélections de la base de données ont été déterminées en comparant la description physique et l'application des objets à la description du processus unitaire.

Les émissions liées à l'utilisation des médicaments ont été calculées en utilisant la méthodologie «*Economic Input-Output Life cycle Assessment*» décrit en 1.2.3.2.1.1.1, car à ce jour, il n'y a pas de bases de données de cycles de vie disponibles pour les médicaments. Comme décrit dans l'introduction, ce modèle utilise les transferts monétaires entre les différents secteurs économiques pour assigner des émissions à une certaine valeur dépensée.

Une liste détaillée de l'inventaire des produits utilisés et des bases de données d'inventaire de cycle de vie correspondantes est disponible en annexe.

2.2.4.1 Schémas de flux

Les schémas de flux permettent de recenser tous les éléments (matières et énergie) nécessaires au produit ou service, et ce tout au long de son cycle de vie.

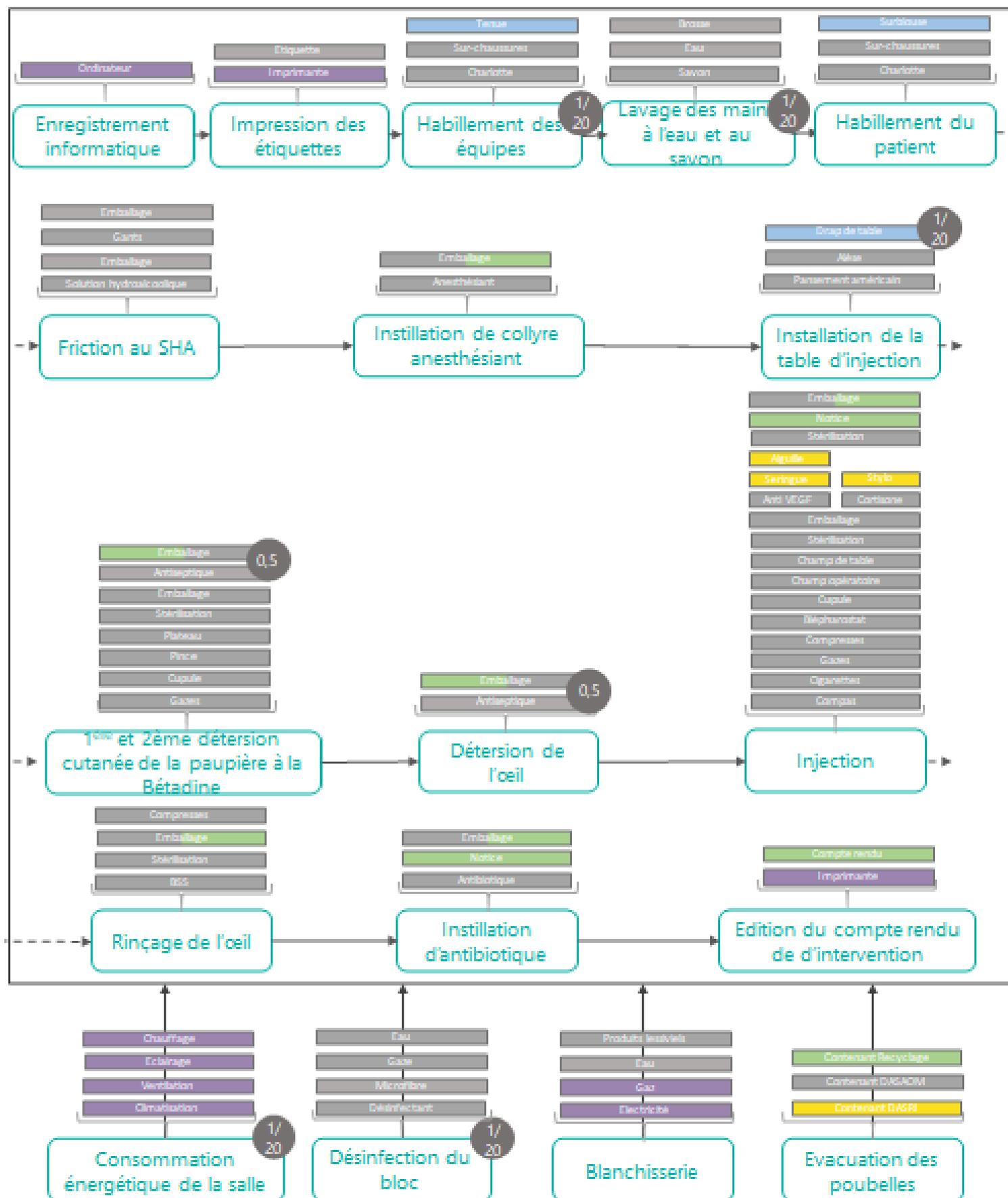
Dans cette étude, le cycle de vie de l'injection intravitréenne est repris en conservant uniquement les étapes ayant des impacts environnementaux. Les quatre scénarii de l'injection ont été représentés avec le détail des matières et énergies entrant dans leur cycle de vie respectifs. Les déchets générés ont été classés en 4 catégories : recyclables, réutilisables, DASAOM et DASRI définis dans la partie 1.2.6.1.

Légende

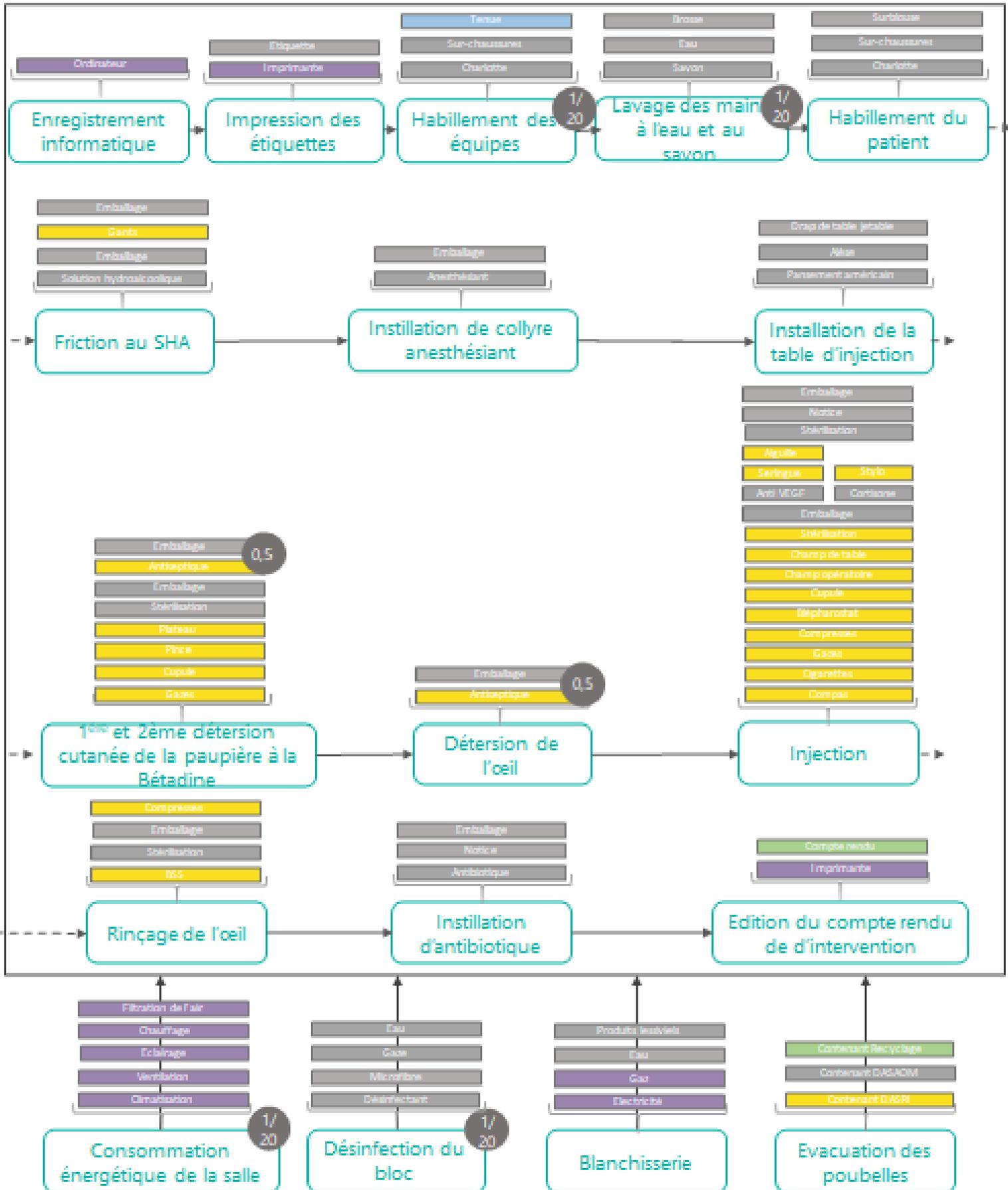


Allocation

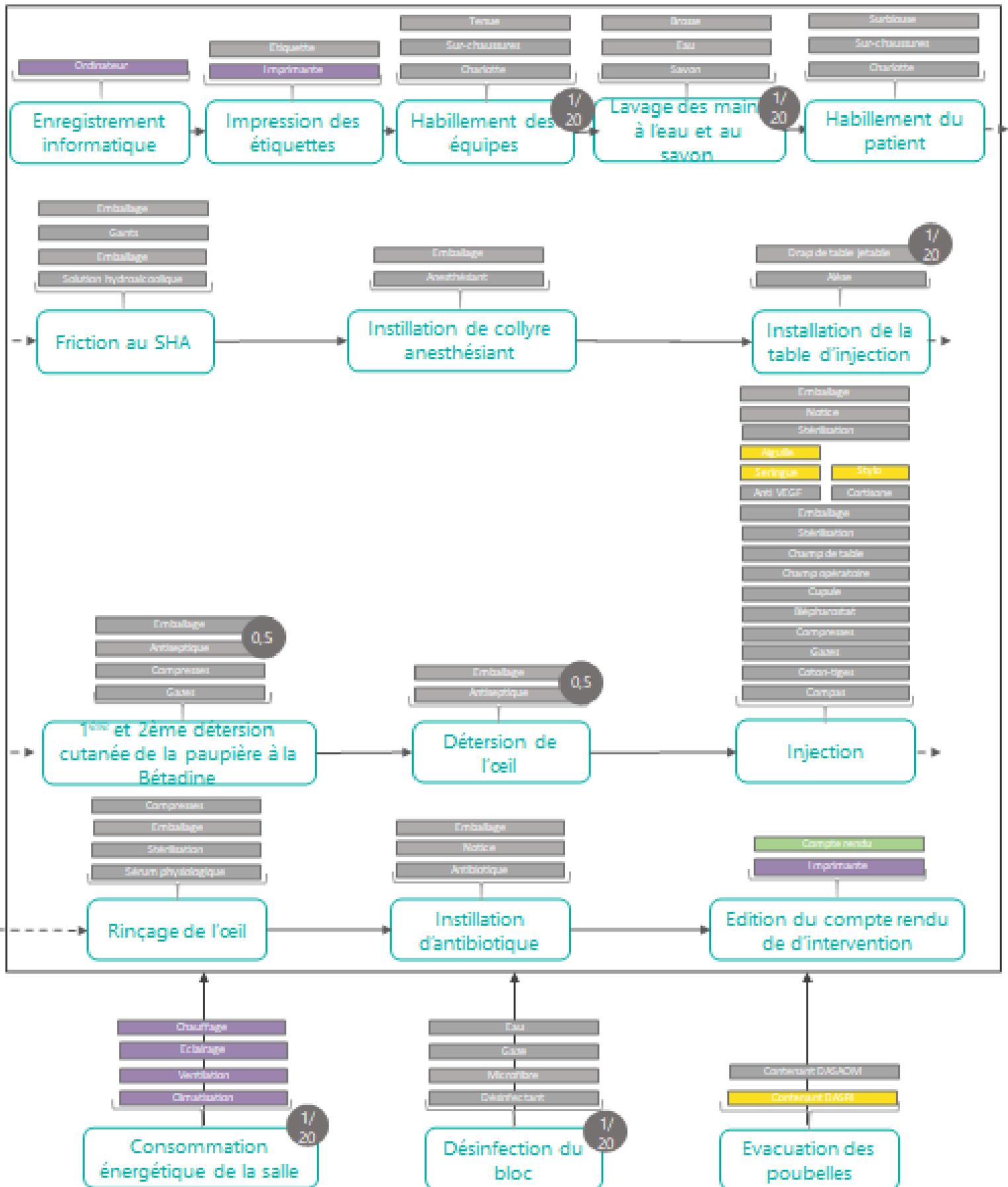
1^{ER} SCÉNARIO : UNE INJECTION AU BLOC OPERATOIRE DU CHU DE LILLE



2^{EME} SCÉNARIO : UNE INJECTION EN SALLE BLANCHE DU CHU DE LILLE



3^{EME} SCÉNARIO : UNE INJECTION A L'INSTITUT OPHTALMIQUE DE SOMAIN



2.2.4.2 Inventaire de cycle de vie du transport patient

Nous avons déterminé comme décrit plus haut dans la partie 2.3.1 la distance aller-retour moyenne effectuée par un patient depuis le domicile jusqu'à la structure de soins en prenant le modèle d'un véhicule de transport léger. Cette donnée a été intégrée au logiciel SigmaPro.

2.2.4.3 Inventaire de cycle de vie de la consommation en Energie

Nous avons déterminé comme décrit plus haut dans la partie 2.3.2 la consommation en électricité et en gaz des différentes salles d'injection pour une durée moyenne de 4 minutes. Ces données comprennent l'Energie nécessaire au fonctionnement des machines, de la ventilation, de la climatisation et du chauffage des salles d'injection. Cette donnée a été intégrée au logiciel SigmaPro.

2.2.4.4 Inventaire de cycle de vie de l'approvisionnement

2.2.4.4.1 Les consommables

Nous avons recensé et pris en considération l'ensemble du matériel utilisé pour réaliser les injections dans chaque structure en Janvier 2020 comme décrit plus haut dans les parties 2.3.3 et 2.3.5. Ces données ont été intégrées au logiciel SigmaPro.

Nous avons également cherché à comparer les impacts environnementaux du pack IVT sur mesure de l'Institut Ophtalmique de Somain en considérant d'une part son lieu de fabrication comme étant le siège de l'entreprise en France (il s'agit de la façon habituelle de faire lorsque l'information sur le lieu de fabrication n'est pas donnée par le fabricant) et d'autre part en utilisant le lieu exact de fabrication des objets du pack qui nous a été transmis. Ce travail nous a permis d'être plus précis sur l'impact environnemental du transport du produit mais également de déterminer le degré de

sous-estimation de la partie transport produit lorsque le lieu de fabrication n'est pas connu.

2.2.4.4.2 Les médicaments

Les émissions reliées à l'utilisation des médicaments ont été calculées en utilisant la méthodologie «*Economic Input-Output Life cycle Assessment*» décrit en 1.2.3.2.1.1.1, car à ce jour, il n'y a pas de bases de données de cycles de vie disponibles pour les médicaments. Ce modèle n'offre pas la possibilité de comparer les médicaments entre eux mais nous donne une estimation des émissions relative à la fabrication de médicaments. Cette méthode a été employé dans des études évaluant l'impact environnemental de système de santé mais également d'actes médicaux.[2],[3],[4],[36]

Les valeurs monétaires prises en compte pour les médicaments sont tirées du dernier prix issu du JORF via la base publique LégiFrance.[104] Elles sont données hors-taxe.

Nous avons utilisé un logiciel gratuit mis à disposition par la *Carnegie Mellon University* de Pittsburgh en Pennsylvanie, aux Etats-Unis.[110] Le système de classification de l'industrie Nord-Américaine, secteur 325412, a été utilisé.[110] Les valeurs monétaires en Euros ont été converties en Dollars en utilisant un convertisseur en ligne indexé sur les marchés financiers.[111] Les valeurs monétaires en Dollars de 2021 ont été converties en Dollars de 2002, (année de la version la plus récente du modèle), pour tenir compte de l'inflation. Nous avons utilisé l'indice officiel des prix à la consommation américain.[112] L'outil de l'Agence Américaine de Protection de l'Environnement pour la réduction et l'évaluation des impacts chimiques et autres impacts environnementaux (TRACI; version 2.1)[113] a été utilisé pour calculer les impacts environnementaux des médicaments dans les différentes catégories d'impacts de l'étude développés dans le paragraphe suivant.

L'objectif de cette étude n'était pas de comparer l'impact des molécules entre elles, mais plutôt de définir un impact environnemental moyen pour 1 IVT. Ainsi nous avons utilisé la part de marché relative de chacune des molécules et multiplié son impact environnemental par sa part de marché (par exemple si une molécule représente 40%

des ventes en France nous avons multiplié son impact environnemental par 0,40 et nous avons réalisé la même opération pour les 4 molécules (Ranibizumab, Aflibercept, Bevacizumab, implant de dexaméthasone) et additionné ces résultats.

2.2.5 Evaluation des impacts

Plusieurs impacts environnementaux doivent être pris en compte lors d'une ACV. Le but étant d'avoir une vue complète et ainsi écarter le risque de déséquilibrer la répartition des impacts : la diminution d'un impact peut entraîner l'augmentation d'un autre.

Les impacts étudiés sont ceux de la méthode globale « ReCipe 2016 Midpoint (H) ».[114]

Les impacts choisis sont donc au nombre de 11 :

- **Le changement climatique.**
- **La réduction de l'ozone stratosphérique.**
- **La formation d'ozone photochimique.**
- **La formation de particules fines.**
- **L'acidification terrestre.**
- **L'eutrophisation (eau douce et marine).**
- **La surface de terres occupées.**
- **La toxicité sur l'environnement, comprenant les écosystèmes aquatiques (marins et fluviaux) et terrestres.**
- **La toxicité humaine, comprenant les effets cancérigènes et non cancérigènes.**
- **L'épuisement des ressources non renouvelables, comprenant les minerais et les énergies fossiles.**
- **L'épuisement des ressources en eau.**

Les effets sur le long terme de ces onze impacts sont pris en compte en comptabilisant leurs influences sur 100 ans.

En parallèle nous avons déterminé **la quantité de déchets générés**.

Le détail de chaque impact est précisé ci-dessous :

Le changement climatique :

Le réchauffement climatique est mesuré en kilogrammes équivalent CO₂ (kgeqCO₂). Le dioxyde de carbone (CO₂) est le gaz à effet de serre le plus connu et le plus émis par les activités humaines. D'autres gaz ont un effet de serre, comme le méthane (émis lors des processus de fermentation) ou le protoxyde d'azote (utilisé comme gaz anesthésiant par exemple). Cependant, leur contribution peut varier : pour une même quantité, le méthane a un effet de serre 25 fois plus important et le protoxyde d'azote 298 fois plus important que le CO₂. L'unité « équivalent CO₂ » ou « eqCO₂ » permet d'utiliser le CO₂ comme étalon en rapportant chaque émission à la quantité de CO₂ qui aurait généré le même effet. Les effets des différents gaz peuvent ainsi être cumulés et comparés.

1 kg eqCO₂ correspond à l'impact d'un trajet de 14 km en ville avec une voiture.

L'appauvrissement de la couche d'ozone stratosphérique :

La réduction de l'ozone stratosphérique est mesurée en kilogrammes équivalent CFC11 (kgeqCFC11). Le CFC-11 ou trichlorofluorométhane est un gaz détruisant l'ozone stratosphérique. Tout comme le CO₂, il sert d'étalon pour tous les gaz ayant un impact sur l'appauvrissement de la couche d'ozone stratosphérique. La couche d'ozone est stratosphérique (haute altitude), elle bloque une partie des rayons ultraviolet du soleil. Sa destruction augmente les risques de cancers comme ceux de la peau.

La formation d'ozone photochimique :

La formation d'ozone est exprimée en kilogrammes équivalent Nox (KgeqNOx). Les NOx représentent les molécules NO et NO₂ ou oxydes d'azote. L'ozone photochimique

aussi appelé « smog » est la formation d'ozone dans la troposphère (basse altitude). Elle se forme avec les émissions de certaines substances comme les composés organiques volatils et les oxydes d'azote qui réagissent aux rayons solaires. L'ozone photochimique cause des problèmes pour la santé humaine notamment au niveau respiratoire.

La formation de particules fines :

Elle est exprimée en kilogrammes équivalent *particulate matter 2.5* (kg eq PM2.5). Cette catégorie d'impacts rassemble les effets d'une collection diverse de particules émises dans l'air et de composés chimiques se transformant en particules après leur émission dans l'environnement. Les effets de ces particules sur la santé humaine se répartissent sur un continuum passant de simples nuisances respiratoires à des affections mortelles.

L'acidification terrestre :

L'acidification terrestre est exprimée en kilogrammes équivalent de dioxyde de soufre (kg eq SO₂). L'acidification terrestre est l'augmentation de la quantité de substances acides dans les sols. Les pluies acides, conséquences de l'acidification atmosphérique, ont des effets nocifs sur la faune et la flore. Elles sont à l'origine du dépérissement de certaines forêts.

L'eutrophisation (eau douce et marine) :

Elle est exprimée en kilogrammes équivalent N (azote) et kilogrammes équivalent P (phosphore). Il s'agit d'un phénomène d'enrichissement des écosystèmes aquatiques en nutriments accélérant la productivité biologique, l'eutrophisation peut causer un déséquilibre dans la biodiversité en favorisant certaines espèces au détriment d'autres.

La surface de terres occupées :

La surface de terres occupées est mesurée en $m^2 \text{an eqCrop}$. Cette unité correspond à la surface de terre nécessaire pour faire pousser une culture ($m^2 \cdot \text{an}$). En plus de l'espace (m^2), cela comprend le temps nécessaire à la culture, depuis la plantation jusqu'à la récolte, qui peut s'étaler de quelques mois à plusieurs années (an). Par exemple, un champ de $1000 m^2$ sur lequel est cultivée une plante pendant 3 ans aura un impact de $3000 m^2 \text{an}$. De la même manière que pour le CO_2 , un étalon est pris afin de pouvoir comparer et cumuler les impacts des différentes cultures. Celui-ci est appelé « eqCrop » soit « équivalent culture » en anglais.

1 $m^2 \text{an eqCrop}$ correspond à l'impact de 100 feuilles de papier.

C'est-à-dire qu'il faut chaque année $1 m^2$ pour cultiver le bois nécessaire à la production de 100 feuilles.

La toxicité sur l'environnement, comprenant les écosystèmes aquatiques et terrestres :

La toxicité sur l'environnement est calculée en équivalent kilogramme de 1,4-dichlorobenzène ($kgeq_{1,4\text{-DCB}}$). Le 1,4-dichlorobenzène est une substance chimique toxique pour l'environnement. Elle est notamment utilisée comme insecticide. De la même manière que précédemment, cette molécule a été choisie comme étalon afin de pouvoir comparer et cumuler les impacts des différentes molécules toxiques pour l'environnement. En particulier, il permet de comparer les impacts sur les différents écosystèmes. Il s'agit de la somme des écotoxicités marine, terrestre et eau douce.

La toxicité humaine :

La toxicité humaine est exprimée avec la même unité que la toxicité sur l'environnement, c'est-à-dire en équivalent kilogramme de 1,4-dichlorobenzène ($kgeq_{1,4\text{-DCB}}$). Il s'agit de la somme des toxicités cancérigènes et non-cancérigènes. Les effets de cette molécule sur la santé humaine sont variables, il a été constaté des accidents entraînant des irritations des muqueuses, des convulsions, de l'anémie. Les études sur les rats ont montré un effet cancérigène.

L'épuisement des ressources non renouvelables, comprenant les minerais et les énergies fossiles :

L'épuisement des ressources en minerais est calculé en kilogramme équivalent cuivre (kg eqCu). Celui des ressources en énergies fossiles est calculé en kilogramme équivalent pétrole (kg eq oil). Dans la même logique que précédemment, ces unités servent d'étalon d'une part aux minerais (cuivre, fer, argent, plomb, lithium, etc.) et d'autre part aux énergies fossiles (pétrole, gaz, charbon, etc.) qui sont présents en quantité limitée sur terre.

1 kg eqCu signifie qu'un kilogramme de cuivre a été extrait des réserves terrestres. Une tour d'ordinateur contient en moyenne 1,5 kg de cuivre.

1 kg eqOil signifie qu'un kilogramme de pétrole a été extrait des réserves terrestres. 1 kg de pétrole permet de fabriquer 3 bouteilles d'eau en plastique (1,5l).

L'épuisement des ressources en eau :

L'épuisement des ressources en eau est mesuré en m³ d'eau. L'eau peut être consommée directement (arrosage, boisson, douche, etc.) ou indirectement dans les produits de consommation (cultures céréalières, élevage, fabrication du plastique, etc.)

1 m³ d'eau correspond à la quantité d'eau nécessaire à la production d'un demi-steak haché.

La quantité de déchets :

En parallèle de l'ACV, nous calculons la quantité de déchets en kg selon trois catégories : recyclés, DASAOM et DASRI.

2.3 Analyse statistique

2.3.1 Analyse de cycle de vie

Les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel SimaPro life cycle assessment software (PRé Consultants, Amersfoort, Pays-Bas).[109]

Les variables quantitatives continues ont été exprimées en moyenne et en pourcentage.

Nous avons également réalisé des extrapolations des résultats au nombre d'injections annuelles dans les différentes structures et sur la France entière.

2.3.2 Audit des déchets

Les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel Excel version 2019 16.0 (Microsoft, Redmond, Washington, Etats-Unis).[115]

Les variables quantitatives continues ont été exprimées en moyenne et en pourcentage.

Nous avons également réalisé des extrapolations des résultats au nombre d'injections annuelles dans les différentes structures et sur la France entière.

2.4 Cadre réglementaire

Information et consentement : aucune donnée individuelle sur les patients n'a été recueillie lors de cette étude

Conflit d'intérêt : aucun financement privé n'a été obtenu

3 Résultats

3.1 Résultats de l'analyse de cycle de vie

La modélisation de l'ensemble des éléments de l'inventaire du cycle de vie, inventoriés dans la partie précédente, permet le calcul de l'impact environnemental de chaque scénario.

3.1.1 Données brutes

L'ensemble des résultats chiffrés, pour chaque scénario, sur chaque critère, pour une IVT, est rassemblé dans les tableaux 2 à 7. Le tableau 8 rapporte l'impact environnemental des molécules.

Légende :			
1	Enregistrement informatique		
2	Impression des étiquettes		
3	Edition du compte rendu d'opération		
4	Lavage des mains		
5	Consommation énergétique de la salle		
6	Brosse chirurgicale		
7	Désinfection des mains		
8	1ère et 2ème detersion		
9	Habillement du personnel		
10	Habillement du patient		
11	Installation de la table		
12	Pack IVT		
13	Evacuation des déchets		
14	Désinfection de la salle		
15	Antibiotique		
16	Rinçage		
17	Anesthésiant		
18	Gants		
19	Emballage des molécules		
20	Transport patient		

Tableau 2 Impact environnemental d'une IVT au Bloc opératoire du CHU de Lille (énergie + consommables) d'après EcolInvent Database [106]

Catégorie d'impact	Unité	Total	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Global warming	kg CO2 eq	2,09869	0,00335	0,058283	0,031061	0,001044	0,053023	0,004171	0,007652	0,418503	0,00445	0,241877	0,063277	0,698657	0,138879	0,000517	0,002249	0,070652	0,00907	0,176654	0,115321
Stratospheric ozone depletion	kg CFC11 eq	2,55E-06	1,46E-09	2,07E-08	1,53E-08	3,30E-10	1,96E-08	1,83E-09	1,02E-08	1,02E-06	4,80E-09	2,47E-07	5,02E-08	8,66E-07	2,02E-08	2,92E-10	6,78E-10	2,15E-08	2,36E-09	3,89E-08	2,09E-07
Ionizing radiation	kBq Co-60 eq	0,539153	0,00034	0,005601	0,00386	2,05E-05	0,05291	0,000102	9,39E-05	0,008776	0,007648	0,441812	0,051227	0,012195	0,003464	0,001196	0,000101	0,000567	0,000324	0,00226	0,006656
Ozone formation, Human health	kg NOx eq	0,003284	8,39E-06	0,000114	7,52E-05	1,30E-06	5,24E-05	5,56E-06	1,48E-05	0,000544	7,95E-06	0,000443	9,94E-05	0,000867	0,000181	1,03E-06	3,96E-06	0,000124	1,42E-05	0,000369	0,000358
Fine particulate matter formation	kg PM2.5 eq	0,001725	7,66E-06	7,08E-05	5,51E-05	8,18E-07	2,93E-05	2,83E-06	6,75E-06	0,000264	4,93E-06	0,000278	6,46E-05	0,00043	9,06E-05	7,03E-07	2,25E-06	6,07E-05	7,22E-06	0,000161	0,000188
Ozone formation	kg NOx eq	0,003402	8,54E-06	0,000119	7,65E-05	1,34E-06	5,45E-05	5,92E-06	1,65E-05	0,000565	8,13E-06	0,000452	0,000101	0,000908	0,000194	1,05E-06	4,16E-06	0,000128	1,51E-05	0,00038	0,000365
Terrestrial acidification	kg SO2 eq	0,004301	1,22E-05	0,000148	0,000103	1,89E-06	7,22E-05	6,91E-06	1,77E-05	0,000711	1,33E-05	0,000765	0,000166	0,001057	0,00021	1,85E-06	4,66E-06	0,00016	1,60E-05	0,000429	0,000405
Freshwater eutrophication	kg P eq	0,000277	2,59E-06	1,76E-05	1,42E-05	1,68E-07	6,47E-06	5,19E-07	2,41E-06	3,42E-05	1,00E-06	5,49E-05	1,19E-05	6,20E-05	1,73E-05	1,13E-07	4,53E-07	4,28E-06	1,47E-06	1,13E-05	3,37E-05
Marine eutrophication	kg N eq	0,000258	3,24E-07	2,42E-06	3,12E-06	7,57E-07	1,58E-06	2,03E-07	9,58E-08	1,03E-05	2,58E-06	0,000149	5,04E-05	1,21E-05	2,14E-06	1,90E-07	1,15E-07	9,79E-07	4,26E-07	7,83E-06	1,36E-05
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DCB	4,72371	0,009469	0,11009	0,05102	0,002025	0,038282	0,009433	0,010265	1,038182	0,009502	0,487865	0,139456	1,6802	0,261761	0,001213	0,005232	0,12894	0,022858	0,319915	0,398002
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DCB	0,094607	0,000922	0,002622	0,002091	4,69E-05	0,001823	0,000197	0,000309	0,015885	0,000289	0,015489	0,003981	0,030486	0,006288	2,90E-05	0,000102	0,001929	0,000427	0,006659	0,005033
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DCB	0,128657	0,001197	0,003595	0,002736	6,06E-05	0,002356	0,000275	0,000412	0,021857	0,000373	0,019897	0,005094	0,04236	0,008804	3,75E-05	0,000141	0,002702	0,000597	0,009471	0,006694
Human carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	0,074109	0,000319	0,003512	0,002608	4,29E-05	0,001756	0,000152	0,000333	0,009094	0,000216	0,011649	0,002081	0,024626	0,003872	3,85E-05	8,98E-05	0,001657	0,000288	0,004104	0,007671
Human non-carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	1,451512	0,013429	0,048236	0,042026	0,001072	0,029463	0,002255	0,00508	0,257579	0,005218	0,285228	0,089548	0,374213	0,079316	0,000633	0,00153	0,02653	0,005764	0,078012	0,106083
Land use	m2a crop eq	0,109425	7,78E-05	0,011662	0,009133	9,26E-05	0,000419	5,61E-05	8,38E-05	0,008242	0,000418	0,023809	0,00709	0,013002	0,0016	2,28E-05	0,000205	0,000955	0,000436	0,009349	0,022773
Mineral resource scarcity	kg Cu eq	0,011429	4,71E-05	0,000109	0,000127	3,30E-06	0,000129	5,20E-06	1,70E-05	0,008189	1,38E-05	0,000751	0,000192	0,001271	0,000136	1,98E-06	2,81E-06	4,35E-05	9,08E-06	8,12E-05	0,000301
Fossil resource scarcity	kg oil eq	0,589746	0,000821	0,017744	0,007377	0,000115	0,017114	0,0014	0,004325	0,097704	0,001239	0,067231	0,011214	0,204642	0,047945	0,000183	0,000677	0,019222	0,002754	0,053752	0,033687
Water consumption	m3	0,029858	2,84E-05	0,000871	0,00052	1,26E-05	0,000359	2,96E-05	5,82E-05	0,000204	0,00028	0,016203	0,003388	0,002121	0,001057	1,21E-05	2,82E-05	0,000393	0,000102	0,002177	0,002015

Tableau 3 Impact environnemental d'une IVT au Bloc opératoire du CHU de Lille (énergie + consommables + transport patient) d'après EcolInvent Database [106]

Catégorie d'impact	Unité	Total	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Global warming	kg CO2 eq	16,93748	0,00335	0,0582829	0,031060864	0,001044	0,053023	0,004171	0,007652	0,418503	0,00445	0,241877	0,063277	0,698657	0,138879	0,000517	0,002249	0,070652	0,00907	0,176654	0,115321	14,89879
Stratospheric ozone depletion	kg CFC11 eq	1,00E-05	1,46E-09	2,07E-08	1,53E-08	3,30E-10	1,96E-08	1,83E-09	1,02E-08	1,02E-06	4,80E-09	2,47E-07	5,02E-08	8,66E-07	2,02E-08	2,92E-10	6,78E-10	2,15E-08	2,36E-09	3,89E-08	2,09E-07	7,46E-06
Ionizing radiation	kBq Co-60 eq	0,966253	0,00034	0,0056012	0,003859546	2,05E-05	0,05291	0,000102	9,39E-05	0,008776	0,007648	0,441812	0,051227	0,012195	0,003464	0,001196	0,000101	0,000567	0,000324	0,00226	0,006656	0,3671
Ozone formation, Human health	kg NOx eq	0,040714	8,39E-06	0,0001145	7,52E-05	1,30E-06	5,24E-05	5,56E-06	1,48E-05	0,000544	7,95E-06	0,000443	9,94E-05	0,000867	0,000181	1,03E-06	3,96E-06	0,000124	1,42E-05	0,000369	0,000358	0,03743
Fine particulate matter formation	kg PM2.5 eq	0,016184	7,66E-06	7,08E-05	5,51E-05	8,18E-07	2,93E-05	2,83E-06	6,75E-06	0,000264	4,93E-06	0,000278	6,46E-05	0,00043	9,06E-05	7,03E-07	2,25E-06	6,07E-05	7,22E-06	0,000161	0,000188	0,016459
Ozone formation	kg NOx eq	0,042426	8,54E-06	0,000119	7,65E-05	1,34E-06	5,45E-05	5,92E-06	1,65E-05	0,000565	8,13E-06	0,000452	0,000101	0,000908	0,000194	1,05E-06	4,16E-06	0,000128	1,51E-05	0,00038	0,000365	0,039024
Terrestrial acidification	kg SO2 eq	0,042934	1,22E-05	0,0001479	0,00010322	1,89E-06	7,22E-05	6,91E-06	1,77E-05	0,000711	1,33E-05	0,000765	0,000166	0,001057	0,00021	1,85E-06	4,66E-06	0,00016	1,60E-05	0,000429	0,000405	0,038633
Freshwater eutrophication	kg P eq	0,002436	2,59E-06	1,76E-05	1,42E-05	1,68E-07	6,47E-06	5,19E-07	2,41E-06	3,42E-05	1,00E-06	5,49E-05	1,19E-05	6,20E-05	1,73E-05	1,13E-07	4,53E-07	4,28E-06	1,47E-06	1,13E-05	3,37E-05	0,002219
Marine eutrophication	kg N eq	0,000547	3,24E-07	2,42E-06	3,12E-06	7,57E-07	1,58E-06	2,03E-07	9,58E-08	1,03E-05	2,58E-06	0,000149	5,04E-05	1,21E-05	2,14E-06	1,90E-07	1,15E-07	9,79E-07	4,26E-07	7,83E-06	1,36E-05	0,000289
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DCB	72,03062	0,009469	0,1100895	0,051020447	0,002025	0,038282	0,009433	0,010265	1,038182	0,009502	0,487865	0,139456	1,6802	0,261761	0,001213	0,005232	0,12894	0,022858	0,319915	0,398002	67,30691
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DCB	1,459141	0,000922	0,0026222	0,00209146	4,69E-05	0,001823	0,000197	0,000309	0,015885	0,000289	0,015489	0,003981	0,030486	0,006288	2,90E-05	0,000102	0,001929	0,000427	0,006659	0,005033	1,364534
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DCB	1,87579	0,001197	0,0035953	0,002735549	6,06E-05	0,002356	0,000275	0,000412	0,021857	0,000373	0,019897	0,005094	0,04236	0,008804	3,75E-05	0,000141	0,002702	0,000597	0,009471	0,006694	1,747133
Human carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	2,358321	0,000319	0,0035117	0,002607724	4,29E-05	0,001756	0,000152	0,000333	0,009094	0,000216	0,011649	0,002081	0,024626	0,003872	3,85E-05	8,98E-05	0,001657	0,000288	0,004104	0,007671	2,284212
Human non-carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	15,7722	0,013429	0,048236	0,042026439	0,001072	0,029463	0,002255	0,00508	0,257579	0,005218	0,285228	0,089548	0,374213	0,079316	0,000633	0,00153	0,02653	0,005764	0,078012	0,106083	14,32068
Land use	m2a crop eq	0,475925	7,78E-05	0,0116616	0,009133476	9,26E-05	0,000419	5,61E-05	8,38E-05	0,008242	0,000418	0,023809	0,00709	0,013002	0,0016	2,28E-05	0,000205	0,000955	0,000436	0,009349	0,022773	0,366499
Mineral resource scarcity	kg Cu eq	0,089261	4,71E-05	0,0001087	0,000127287	3,30E-06	0,000129	5,20E-06	1,70E-05	0,008189	1,38E-05	0,000751	0,000192	0,001271	0,000136	1,98E-06	2,81E-06	4,35E-05	9,08E-06	8,12E-05	0,000301	0,077832
Fossil resource scarcity	kg oil eq	5,220131	0,000821	0,0177439	0,007978643	0,000115	0,017114	0,0014	0,004325	0,097704	0,001239	0,067231	0,011214	0,204642	0,047945	0,000183	0,000677	0,019222	0,002754	0,053752	0,033687	4,630385
Water consumption	m3	0,075463	2,84E-05	0,0008706	0,000519875	1,26E-05	0,000359	2,96E-05	5,82E-05	0,000204	0,00028	0,016203	0,003388	0,002121	0,001057	1,21E-05	2,82E-05	0,000393	0,000102	0,002177	0,002015	0,045605

Tableau 4 Impact environnemental d'une IVT en unité François du CHU de Lille (énergie + consommables) d'après Ecolnvent Database [106]

Catégorie d'impact	Unité	Total	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Global warming	kg CO2 eq	2,2933	0,0033	0,0583	0,0311	0,0673	0,001	0,0042	0,0077	0,383	0,0045	0,321	0,1997	0,6147	0,2521	0,0005	0,0023	0,0661	0,0091	0,150854	0,116795
Stratospheric ozone depletion	kg CFC11 eq	0	1,46E-09	2,07E-08	1,53E-08	2,55E-08	3,30E-10	1,83E-09	1,02E-08	1,02E-06	4,80E-09	3,16E-08	5,16E-08	8,56E-07	1,43E-07	2,92E-10	8,56E-10	2,31E-08	2,78E-09	4,30E-08	2,31E-07
Ionizing radiation	kBq Co-60 eq	0,14	0,00034	0,0056012	0,0038595	0,072841	2,05E-05	0,000102	9,39E-05	0,008776	0,007648	0,002937	0,0063	0,011093	0,008188	0,001196	0,000102	0,000568	0,000324	0,002261	0,006671
Ozone formation, Human health	kg NOx eq	0,004	8,39E-06	0,0001145	7,52E-05	6,65E-05	1,30E-06	5,56E-06	1,48E-05	0,000539	7,95E-06	0,000369	0,000316	0,000734	0,000481	1,03E-06	4,06E-06	0,000124	1,45E-05	0,000367	0,00037
Fine particulate matter formation	kg PM2.5 eq	0,0019	7,66E-06	7,08E-05	5,51E-05	3,64E-05	8,18E-07	2,83E-06	6,75E-06	0,000264	4,93E-06	0,000171	0,000167	0,000372	0,000232	7,03E-07	2,27E-06	6,08E-05	7,27E-06	0,000161	0,00019
Ozone formation	kg NOx eq	0,0039	8,54E-06	0,000119	7,65E-05	6,91E-05	1,34E-06	5,92E-06	1,65E-05	0,00056	8,13E-06	0,000386	0,000335	0,000768	0,000501	1,05E-06	4,26E-06	0,000128	1,54E-05	0,000378	0,000377
Terrestrial acidification	kg SO2 eq	0,0046	1,22E-05	0,0001479	0,0001032	9,16E-05	1,89E-06	6,91E-06	1,77E-05	0,000709	1,33E-05	0,000459	0,000384	0,000908	0,000547	1,85E-06	4,70E-06	0,000161	1,61E-05	0,000428	0,000411
Freshwater eutrophication	kg P eq	0,0003	2,59E-06	1,76E-05	1,42E-05	7,79E-06	1,68E-07	5,19E-07	2,41E-06	3,41E-05	1,00E-06	2,37E-05	3,01E-05	5,28E-05	4,65E-05	1,13E-07	4,56E-07	4,30E-06	1,48E-06	1,14E-05	3,40E-05
Marine eutrophication	kg N eq	0,0001	3,24E-07	2,42E-06	3,12E-06	2,04E-06	7,57E-07	2,03E-07	9,58E-08	1,02E-05	2,58E-06	2,50E-06	1,42E-05	1,13E-05	2,56E-05	1,90E-07	1,19E-07	1,01E-06	4,37E-07	7,91E-06	1,42E-05
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DCB	5,061	0,009469	0,1100895	0,0510204	0,048782	0,002025	0,009433	0,010265	0,931687	0,009502	0,635312	0,539916	1,17677	0,589682	0,001213	0,005252	0,109147	0,022904	0,216144	0,401629
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DCB	0,0936	0,000922	0,0026222	0,0020915	0,002136	4,69E-05	0,000197	0,000309	0,013319	0,000289	0,014409	0,011109	0,018795	0,011134	2,90E-05	0,000107	0,001555	0,000439	0,004569	0,005697
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DCB	0,1281	0,001197	0,0035953	0,0027355	0,002756	6,06E-05	0,000275	0,000412	0,018152	0,000373	0,020343	0,015304	0,025805	0,014944	3,75E-05	0,000148	0,002146	0,000613	0,006394	0,007561
Human carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	0,0802	0,000319	0,0035117	0,0026077	0,002217	4,29E-05	0,000152	0,000333	0,008942	0,000216	0,006707	0,006267	0,021854	0,009758	3,85E-05	9,50E-05	0,001692	0,0003	0,004157	0,008338
Human non-carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	1,4597	0,013429	0,048236	0,0420264	0,035094	0,001072	0,002255	0,00508	0,238033	0,005218	0,156864	0,16484	0,278972	0,192276	0,000633	0,001685	0,025099	0,006127	0,066536	0,12556
Land use	m2a crop eq	0,1123	7,78E-05	0,016616	0,0091335	0,000542	9,26E-05	5,61E-05	8,38E-05	0,008243	0,000418	0,00132	0,007331	0,012467	0,026615	2,28E-05	0,000205	0,000957	0,000436	0,009349	0,0228
Mineral resource scarcity	kg Cu eq	0,0114	4,71E-05	0,0001087	0,0001273	0,000159	3,30E-06	5,20E-06	1,70E-05	0,008187	1,38E-05	0,000287	0,000384	0,001151	0,00034	1,98E-06	2,86E-06	4,36E-05	9,19E-06	8,06E-05	0,000307
Fossil resource scarcity	kg oil eq	0,7144	0,000821	0,0177439	0,0079766	0,021731	0,000115	0,0014	0,004325	0,097678	0,001239	0,109597	0,057279	0,165336	0,079349	0,000183	0,000678	0,019233	0,002758	0,053738	0,033921
Water consumption	m3	0,0162	2,84E-05	0,0008706	0,0005199	0,000482	1,26E-05	2,96E-05	5,82E-05	0,000205	0,00028	0,00159	0,001682	0,001677	0,003565	1,21E-05	2,82E-05	0,000397	0,000102	0,002191	0,002024

Tableau 5 Impact environnemental d'une IVT en unité François du CHU de Lille (énergie + consommables + transport patient) d'après Ecolnvent Database [106]

Catégorie d'impact	Unité	Total	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Global warming	kg CO2 eq	17,1921	0,0033	0,0583	0,0311	0,0673	0,001	0,0042	0,008	0,3831	0,0045	0,321	0,1997	0,615	0,2521	0,0005	0,0023	0,0661	0,0091	0,1509	0,116795	14,89879
Stratospheric ozone depletion	kg CFC11 eq	0,00001	1,46E-09	2,07E-08	1,53E-08	2,55E-08	3,30E-10	1,83E-09	1,02E-08	1,02E-06	4,80E-09	3,16E-08	5,16E-08	8,56E-07	1,43E-07	2,92E-10	8,56E-10	2,31E-08	2,78E-09	4,30E-08	2,31E-07	
Ionizing radiation	kBq Co-60 eq	0,5071	0,00034	0,0056012	0,0038595	0,072841	2,05E-05	0,000102	9,39E-05	0,008776	0,007648	0,002937	0,0063	0,011093	0,008188	0,001196	0,000102	0,000568	0,000324	0,002261	0,006671	
Ozone formation, Human health	kg NOx eq	0,0412	8,39E-06	0,0001145	7,52E-05	6,65E-05	1,30E-06	5,56E-06	1,48E-05	0,000539	7,95E-06	0,000369	0,000316	0,000734	0,000481	1,03E-06	4,06E-06	0,000124	1,45E-05	0,000367	0,00037	0,03743
Fine particulate matter formation	kg PM2.5 eq	0,0183	7,66E-06	7,08E-05	5,51E-05	3,64E-05	8,18E-07	2,83E-06	6,75E-06	0,000264	4,93E-06	0,000171	0,000167	0,000372	0,000232	7,03E-07	2,27E-06	6,08E-05	7,27E-06	0,000161	0,00019	0,016459
Ozone formation	kg NOx eq	0,0429	8,54E-06	0,000119	7,65E-05	6,91E-05	1,34E-06	5,92E-06	1,65E-05	0,00056	8,13E-06	0,000386	0,000335	0,000768	0,000501	1,05E-06	4,26E-06	0,000128	1,54E-05	0,000378	0,000377	0,039024
Terrestrial acidification	kg SO2 eq	0,0432	1,22E-05	0,0001479	0,0001032	9,16E-05	1,89E-06	6,91E-06	1,77E-05	0,000709	1,33E-05	0,000459	0,000384	0,000908	0,000547	1,85E-06	4,70E-06	0,000161	1,61E-05	0,000428	0,000411	0,038633
Freshwater eutrophication	kg P eq	0,0025	2,59E-06	1,76E-05	1,42E-05	7,79E-06	1,68E-07	5,19E-07	2,41E-06	3,41E-05	1,00E-06	2,37E-05	3,01E-05	5,28E-05	4,65E-05	1,13E-07	4,56E-07	4,30E-06	1,48E-06	1,14E-05	3,40E-05	0,002219
Marine eutrophication	kg N eq	0,0004	3,24E-07	2,42E-06	3,12E-06	2,04E-06	7,57E-07	2,03E-07	9,58E-08	1,02E-05	2,58E-06	2,50E-06	1,42E-05	1,13E-05	2,56E-05	1,90E-07	1,19E-07	1,01E-06	4,37E-07	7,91E-06	1,42E-05	0,000289
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DCB	72,3678	0,009469	0,1100895	0,0510204	0,048782	0,002025	0,009433	0,010265	0,931687	0,009502	0,635312	0,539916	1,17677	0,589682	0,001213	0,005252	0,109147	0,022904	0,216144	0,401629	67,30691
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DCB	1,4581	0,000922	0,0026222	0,0020915	0,002136	4,69E-05	0,000197	0,000309	0,013319	0,000289	0,014409	0,011109	0,018795	0,011134	2,90E-05	0,000107	0,001555	0,000439	0,004569	0,005697	1,364534
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DCB	1,875	0,001197	0,0035953	0,0027355	0,002756	6,06E-05	0,000275	0,000412	0,018152	0,000373	0,020343	0,015304	0,025805	0,014944	3,75E-05	0,000148	0,002146	0,000613	0,006394	0,007561	1,747133
Human carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	2,3644	0,000319	0,0035117	0,0026077	0,002217	4,29E-05	0,000152	0,000333	0,008942	0,000216	0,006707	0,006267	0,021854	0,009758	3,85E-05	9,50E-05	0,001692	0,0003	0,004157	0,008338	2,284212
Human non-carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	15,7804	0,013429	0,048236	0,0420264	0,035094	0,001072	0,002255	0,00508	0,238033	0,005218	0,156864	0,16484	0,278972	0,192276	0,000633	0,001685	0,025099	0,006127	0,066536	0,12556	14,32068
Land use	m2a crop eq	0,4788	7,78E-05	0,016616	0,0091335	0,000542	9,26E-05	5,61E-05	8,38E-05	0,008243	0,000418	0,00132	0,007331	0,012467	0,026615	2,28E-05	0,000205	0,000957	0,000436	0,009349	0,0228	0,366499
Mineral resource scarcity	kg Cu eq	0,0892	4,71E-05	0,0001087	0,0001273	0,000159	3,30E-06	5,20E-06	1,70E-05	0,008187	1,38E-05	0,000287	0,000384	0,001151	0,00034	1,98E-06	2,86E-06	4,36E-05	9,19E-06	8,06E-05	0,000307	0,077832
Fossil resource scarcity	kg oil eq	5,3447	0,000821	0,0177439	0,0079766	0,021731	0,000115	0,0014	0,004325	0,097678	0,001239	0,109597	0,057279	0,165336	0,079349	0,000183	0,000678	0,019233	0,002758	0,053738	0,033921	4,630385
Water consumption	m3	0,0618	2,84E-05	0,0008706	0,0005199	0,000482	1,26E-05	2,96E-05	5,82E-05	0,000205	0,00028	0,00159	0,001682	0,001677	0,003565	1,21E-05	2,82E-05	0,000397	0,000102	0,002191	0,002024	0,045605

Tableau 6 Impact environnemental d'une IVT à l'Institut Ophtalmique de Somain (énergie + consommables) d'après EcolInvent Database [106]

Catégorie d'impact	Unité	Total	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Global warming	kg CO2 eq	1,335828	0,00335	0,0483316	0,065037187	0,000884	0,036662	0,002381	0,007992	0,067077	0,004316	0,228904	0,156374	0,324096	0,098033	0,000517	0,0074	0,003504	0,006478	0,115826	0,158665
Stratospheric ozone depletion	kg CFC11 eq	9,76E-07	1,46E-09	1,77E-08	2,65E-08	3,58E-10	1,46E-08	7,71E-10	1,96E-08	1,99E-08	5,42E-10	2,75E-08	2,57E-08	5,63E-07	1,40E-08	2,92E-10	2,54E-09	2,29E-09	2,12E-09	3,12E-08	2,06E-07
Ionizing radiation	kBq Co-60 eq	0,093426	0,00034	0,0056056	0,007300142	2,11E-05	0,047281	0,000102	0,000147	0,002081	7,71E-05	0,003893	0,002604	0,009714	0,002961	0,001196	0,000408	0,000519	0,000325	0,002271	0,006579
Ozone formation, Human health	kg NOx eq	0,002671	8,39E-06	0,0001117	0,000138322	1,35E-06	3,50E-05	5,08E-06	1,78E-05	0,000138	8,52E-06	0,000449	0,000226	0,000628	0,000156	1,03E-06	1,57E-05	8,25E-06	1,38E-05	0,000358	0,000351
Fine particulate matter formation	kg PM2.5 eq	0,001448	7,66E-06	7,06E-05	0,000100404	8,38E-07	1,75E-05	2,78E-06	8,49E-06	0,000104	4,12E-06	0,000217	0,000125	0,000344	7,94E-05	7,03E-07	8,12E-06	4,01E-06	7,21E-06	0,00016	0,000186
Ozone formation	kg NOx eq	0,002778	8,54E-06	0,0001163	0,000140673	1,38E-06	3,64E-05	5,44E-06	1,97E-05	0,000141	9,01E-06	0,000473	0,000233	0,000657	0,000167	1,05E-06	1,67E-05	8,43E-06	1,47E-05	0,000369	0,000357
Terrestrial acidification	kg SO2 eq	0,003439	1,22E-05	0,000147	0,000190684	1,93E-06	4,81E-05	6,72E-06	2,15E-05	0,000262	1,08E-05	0,000576	0,000289	0,000819	0,000184	1,85E-06	1,80E-05	9,19E-06	1,59E-05	0,000426	0,0004
Freshwater eutrophication	kg P eq	0,00023	2,59E-06	1,76E-05	2,52E-05	1,67E-07	3,23E-06	5,17E-07	2,71E-06	1,49E-05	6,38E-07	3,17E-05	1,66E-05	4,98E-05	1,51E-05	1,13E-07	1,70E-06	1,32E-06	1,47E-06	1,13E-05	3,31E-05
Marine eutrophication	kg N eq	0,000315	3,24E-07	7,55E-06	1,29E-05	7,15E-07	1,10E-06	2,08E-06	4,45E-07	7,34E-06	6,58E-07	3,24E-05	6,91E-05	6,92E-05	6,36E-06	1,90E-07	1,62E-06	1,43E-06	1,35E-06	5,90E-05	4,14E-05
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DCB	2,545293	0,009469	0,0646895	0,088149664	0,002025	0,025172	0,004419	0,010588	0,311246	0,004824	0,250276	0,310928	0,818444	0,163458	0,001213	0,016155	0,016229	0,01106	0,098826	0,338123
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DCB	0,080025	0,000922	0,0025073	0,003228528	4,55E-05	0,000759	0,000185	0,000437	0,005922	0,000378	0,018805	0,008004	0,020307	0,005962	2,90E-05	0,000519	0,000798	0,000396	0,005337	0,005485
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DCB	0,108908	0,001197	0,0033962	0,004244244	5,85E-05	0,000974	0,000253	0,000583	0,007903	0,000523	0,02607	0,010606	0,027985	0,008314	3,75E-05	0,000712	0,001084	0,000543	0,007179	0,007247
Human carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	0,060463	0,000319	0,0033886	0,004751085	4,36E-05	0,001147	0,00014	0,000422	0,003515	0,000161	0,008008	0,003294	0,019664	0,003249	3,85E-05	0,000344	0,000434	0,000271	0,003729	0,007545
Human non-carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	1,59197	0,013429	0,0565661	0,074319324	0,00101	0,013637	0,003496	0,008297	0,119835	0,006504	0,32195	0,176228	0,396295	0,089563	0,000633	0,010092	0,014308	0,007812	0,141721	0,136274
Land use	m2a crop eq	0,096311	7,78E-05	0,0116818	0,018181023	9,27E-05	0,000296	5,78E-05	0,000107	0,006897	3,76E-05	0,001914	0,008139	0,014401	0,00139	2,28E-05	0,000502	0,000343	0,000441	0,009428	0,022304
Mineral resource scarcity	kg Cu eq	0,01062	4,71E-05	0,0001074	0,000194791	3,32E-06	7,08E-05	5,03E-06	2,23E-05	0,007802	7,69E-06	0,000376	0,000409	0,001054	0,000121	1,98E-06	1,05E-05	8,31E-06	8,88E-06	7,65E-05	0,000294
Fossil resource scarcity	kg oil eq	0,539522	0,000821	0,0177427	0,014914593	0,000117	0,019126	0,001397	0,005081	0,023748	0,002821	0,144023	0,033881	0,146737	0,043121	0,000183	0,003012	0,000084	0,002755	0,053737	0,032663
Water consumption	m3	0,014009	2,84E-05	0,0008709	0,000998615	1,27E-05	0,000293	2,92E-05	7,57E-05	0,000651	3,69E-05	0,002015	0,000967	0,00271	0,00091	1,21E-05	0,000112	5,24E-05	0,000102	0,002178	0,001954

Tableau 7 Impact environnemental d'une IVT à l'Institut Ophtalmique de Somain (énergie + consommables + transport patient) d'après EcolInvent Database [106]

Catégorie d'impact	Unité	Total	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Global warming	kg CO2 eq	16,23462	0,00335	0,0483316	0,065037187	0,000884	3,67E-02	0,002381	0,007992	0,067077	0,004316	0,228904	0,156374	0,324096	0,098033	5,17E-04	0,0074	0,003504	0,006478	0,115826	0,158665	14,89879
Stratospheric ozone depletion	kg CFC11 eq	8,43E-06	1,46E-09	1,77E-08	2,65E-08	3,58E-10	1,46E-08	7,71E-10	1,96E-08	1,99E-08	5,42E-10	2,75E-08	2,57E-08	5,63E-07	1,40E-08	2,92E-10	2,54E-09	2,29E-09	2,12E-09	3,12E-08	2,06E-07	7,46E-06
Ionizing radiation	kBq Co-60 eq	0,460526	0,00034	0,0056056	0,007300142	2,11E-05	4,73E-02	0,000102	0,000147	0,002081	7,71E-05	0,003893	0,002604	0,009714	0,002961	1,20E-03	4,08E-04	0,000519	0,000325	0,002271	0,006579	0,3671
Ozone formation, Human health	kg NOx eq	0,040101	8,39E-06	0,0001117	0,000138322	1,35E-06	3,50E-05	5,08E-06	1,78E-05	0,000138	8,52E-06	0,000449	0,000226	0,000628	0,000156	1,03E-06	1,57E-05	8,25E-06	1,38E-05	0,000358	0,000351	0,03743
Fine particulate matter formation	kg PM2.5 eq	0,017907	7,66E-06	7,06E-05	0,000100404	8,38E-07	1,75E-05	2,78E-06	8,49E-06	0,000104	4,12E-06	0,000217	0,000125	0,000344	7,94E-05	7,03E-07	8,12E-06	4,01E-06	7,21E-06	0,00016	0,000186	0,016459
Ozone formation	kg NOx eq	0,041802	8,54E-06	0,0001163	0,000140673	1,38E-06	3,64E-05	5,44E-06	1,97E-05	0,000141	9,01E-06	0,000473	0,000233	0,000657	0,000167	1,05E-06	1,67E-05	8,43E-06	1,47E-05	3,69E-04	0,000357	0,039024
Terrestrial acidification	kg SO2 eq	0,042072	1,22E-05	0,000147	0,000190684	1,93E-06	4,81E-05	6,72E-06	2,15E-05	0,000262	1,08E-05	0,000576	0,000289	0,000819	0,000184	1,85E-06	1,80E-05	9,19E-06	1,59E-05	0,000426	0,0004	0,038633
Freshwater eutrophication	kg P eq	0,002449	2,59E-06	1,76E-05	2,52E-05	1,67E-07	3,23E-06	5,17E-07	2,71E-06	1,49E-05	6,38E-07	3,17E-05	1,66E-05	4,98E-05	1,51E-05	1,13E-07	1,70E-06	1,32E-06	1,47E-06	1,13E-05	3,31E-05	0,002219
Marine eutrophication	kg N eq	0,000604	3,24E-07	7,55E-06	1,29E-05	7,15E-07	1,10E-06	2,08E-06	4,45E-07	7,34E-06	6,58E-07	3,24E-05	6,91E-05	6,92E-05	6,36E-06	1,90E-07	1,62E-06	1,43E-06	1,35E-06	5,90E-05	4,14E-05	0,000289
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DCB	69,8522	0,009469	0,0646895	0,088149664	0,002025	0,025172	0,004419	0,010588	0,311246	0,004824	0,250276	0,310928	0,818444	0,163458	0,001213	0,016155	0,016229	0,01106	0,098826	0,338123	67,30691
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DCB	1,444558	0,000922	0,0025073	0,003228528	4,55E-05	0,000759	0,000185	0,000437	0,005922	0,000378	0,018805	0,008004	0,020307	0,005962	2,90E-05	0,000519	0,000798	0,000396	0,005337	0,005485	1,364534
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DCB	1,856041	0,001197	0,0033962	0,004244244	5,85E-05	0,000974	0,000253	0,000583	0,007903	0,000523	0,02607	0,010606	0,027985	0,008314	3,75E-05	0,000712	0,001084	0,000543	0,007179	0,007247	1,747133
Human carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	2,344675	0,000319	0,0033886	0,004751085	4,36E-05	0,001147	0,00014	0,000422	0,003515	0,000161	0,008008	0,003294	0,019664	0,003249	3,85E-05	0,000344	0,000434	0,000271	0,003729	0,007545	2,284212
Human non-carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	15,91265	0,013429	0,0565661	0,074319324	0,00101	0,013637	0,003496	0,008297	0,119835	0,006504	0,32195	0,176228	0,396295	0,089563	0,000633	0,010092	0,014308	0,007812	0,141721	0,136274	14,32068
Land use	m2a crop eq	0,462811	7,78E-05	0,0116818	0,018181023	9,27E-05	0,000296	5,78E-05	0,000107	0,006897	3,76E-05	0,001914	0,008139	0,014401	0,00139	2,28E-05	0,000502	0,000343	0,000441	0,009428	0,022304	0,366499
Mineral resource scarcity	kg Cu eq	0,088452	4,71E-05	0,0001074	0,000194791	3,32E-06	7,08E-05	5,03E-06	2,23E-05	0,007802	7,69E-06	0,000376	0,000409	0,001054	0,000121	1,98E-06	1,05E-05	8,31E-06	8,88E-06	7,65E-05	0,000294	0,077832
Fossil resource scarcity	kg oil eq	5,169907	0,000821	0,0177427	0,014914593	0,000117	0,019126	0,001397	0,005081	0,023748	0,002821	0,144023	0,033881	0,146737	0,043121	0,000183	0,003012	0,000084	0,002755	0,053737	0,032663	4,630385
Water consumption	m3	0,059614	2,84E-05	0,0008709	0,000998615	1,27E-05	0,000293	2,92E-05	7,57E-05	0,000651	3,69E-05	0,002015	0,000967	0,00271	0,00091	1,21E-05	0,000112	5,24E-05	0,000102	0,002178	0,001954	0,045605

Il est difficile de se représenter ces chiffres, c'est pour cette raison qu'ils sont vulgarisés dans la partie discussion.

3.1.2 Statistiques descriptives

3.1.2.1 Impacts environnementaux en fonction du périmètre d'étude

Tableau 9 : Empreinte carbone d'une IVT en kgeqCO₂ pour chaque site en fonction des paramètres pris en considération

	Consommable + Energie	Consommable + Energie + Transport	Consommable + Energie + Transport + Médicaments
CHU Bloc	2,10	17,00	169,3
CHU Unité François	2,29	17,19	170,4
Somain	1,36	16,23	167,7

3.1.2.1.1 Energie + consommables

L'impact environnemental d'une IVT au bloc opératoire du CHU de Lille, en unité François du CHU de Lille et à l'Institut Ophtalmique de Somain concernant les émissions de gaz à effet de serre est respectivement de 2,10 kgeqCO₂, 2,29 kgeqCO₂ et 1,36 kgeqCO₂ lorsque l'énergie et les consommables sont pris en compte (tableau 9).

Au bloc opératoire du CHU de Lille, les consommables représentent 95,24% et l'énergie 4,76% de l'impact carbone. En unité François du CHU de Lille, ce sont 95,63% et 4,37%. A Somain ce sont 92,31% et 7,69% (figure 22).

3.1.2.1.2 Energie + consommables + transport patient

Lorsque le transport aller-retour du patient de son domicile à la structure de soin est également pris en compte, l'impact est respectivement de 17,00 kgeqCO₂, 17,19 kgeqCO₂ et 16,23 kgeqCO₂ (tableau 9).

Au bloc opératoire du CHU de Lille, les consommables représentent 11,76%, l'énergie 0,58% et le transport 87,65% de l'impact carbone. En unité François du CHU de Lille, ce sont 12,28% et 0,58% et 87,14%. A Somain ce sont 7,41%, 0,62% et 91,97% (figure 22).

3.1.2.1.3 Energie + consommables + transport patient + médicaments

Lorsqu'on y ajoute l'impact de tous les médicaments (y compris la molécule injectée), l'impact grimpe respectivement à 169,3 kgeqCO₂, 170,4 kgeqCO₂ et 167,7 kgeqCO₂ (tableau 9).

Au bloc opératoire du CHU de Lille, les consommables représentent 1,18%, l'énergie 0,06%, le transport des patients 8,80% et la molécule (fabrication et transport) 89,96% de l'impact carbone. En unité François du CHU de Lille, ce sont 1,24%, 0,06%, 8,80% et 89,90%. A Somain 0,71%, 0,06%, 8,88% et 90,35% (figure 22).

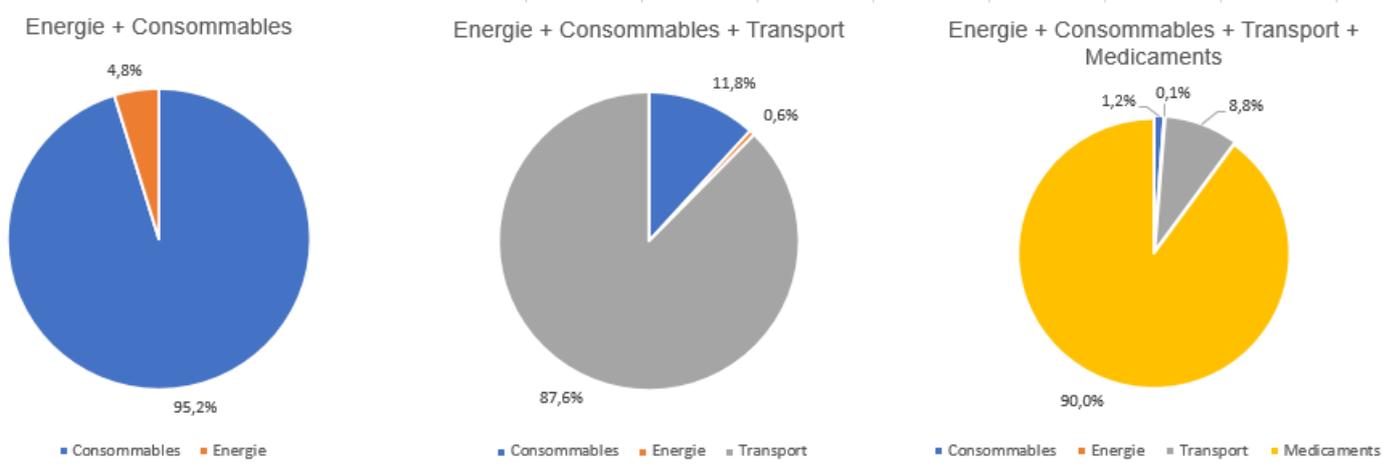


Figure 22 Répartition des émissions de GES pour 1 IVT en fonction des paramètres pris en compte dans l'ACV au Bloc opératoire du CHU de Lille

3.1.2.2 Focus sur la partie énergie et consommables

3.1.2.2.1 Comparaison entre les 3 sites d'études :

Nous avons vu plus haut qu'une IVT était responsable de l'émission de 2,1 kgeqCO₂, 2,29 kgeqCO₂ et 1,36 kgeqCO₂ de GES, respectivement au bloc opératoire, en unité François du CHU de Lille et à l'Institut Ophtalmique de Somain (tableau 9).

Une IVT à l'Institut Ophtalmique de Somain a un impact environnemental moins important qu'une IVT au bloc opératoire ou à l'unité François du CHU de Lille dans quasiment toutes les catégories d'impact (figure 23).

L'unité François génère 9,05% de GES en plus que le bloc opératoire du CHU de Lille pour une IVT.

L'unité François et le bloc opératoire du CHU de Lille génèrent respectivement 54,41% et 68,38% de GES en plus que l'Institut Ophtalmique de Somain pour une IVT.

L'unité François et le bloc opératoire du CHU de Lille sont responsables d'une déplétion en ozone stratosphérique respectivement 2,61 et 2,55 fois plus importante que l'Institut Ophtalmique de Somain pour une IVT.

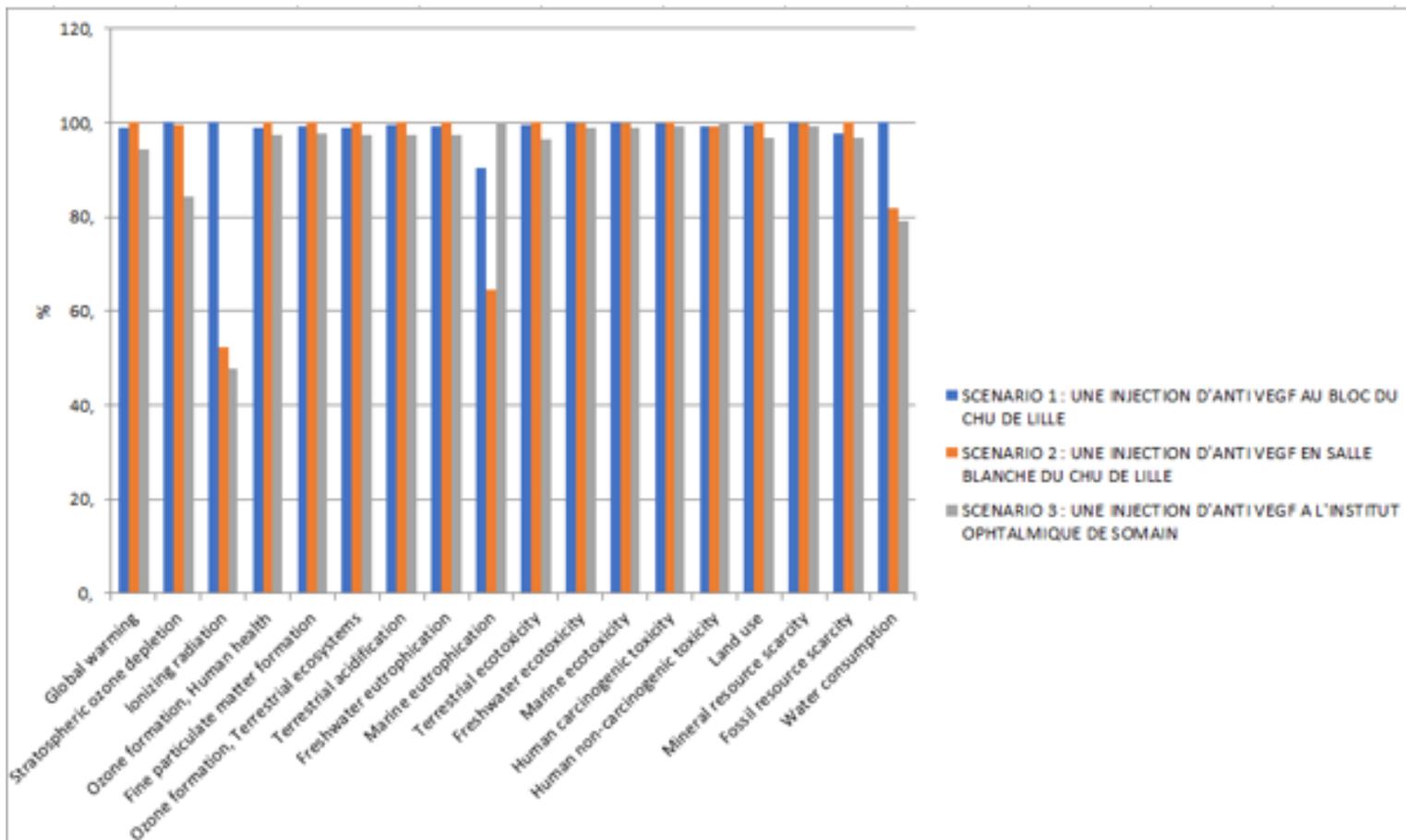


Figure 23 Comparaison des 3 sites d'étude, sur chacun des facteurs d'impact environnementaux étudiés, pour une IVT

Les graphiques suivants, (figure 24, 25 et 26) permettent de regarder la contribution des différentes étapes d'une IVT à chaque impact environnemental. Il est intéressant de les utiliser pour repérer les étapes susceptibles d'avoir un impact significatif sur l'environnement.

Au CHU de Lille et à l'institut Ophtalmique de Somain, le pack IVT sur mesure est responsable d'une part importante des impacts dans presque toutes les catégories d'impact (respectivement 23,53% et 19,34% sur la moyenne de l'ensemble des facteurs d'émissions).

Le pack détersion du CHU de Lille est responsable d'une part importante des impacts dans presque toutes les catégories d'impact (18,05% sur la moyenne de l'ensemble des facteurs d'émissions).

A l'institut Ophtalmique de Somain, le pack IVT sur mesure est responsable d'une part importante des impacts dans presque toutes les catégories d'impact. De même, l'emballage des molécules et l'habillement du patient représentent une part non négligeable dans l'ensemble des catégories.

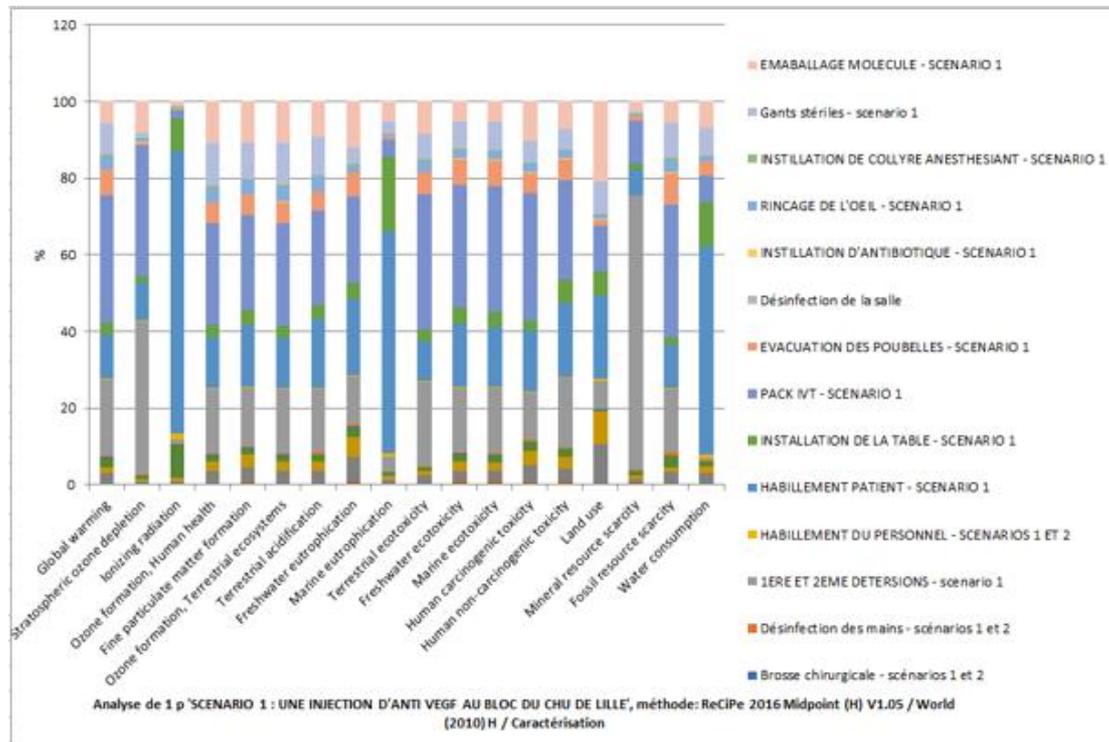


Figure 24 Détail de chaque impact environnemental au bloc opératoire du CHU de Lille

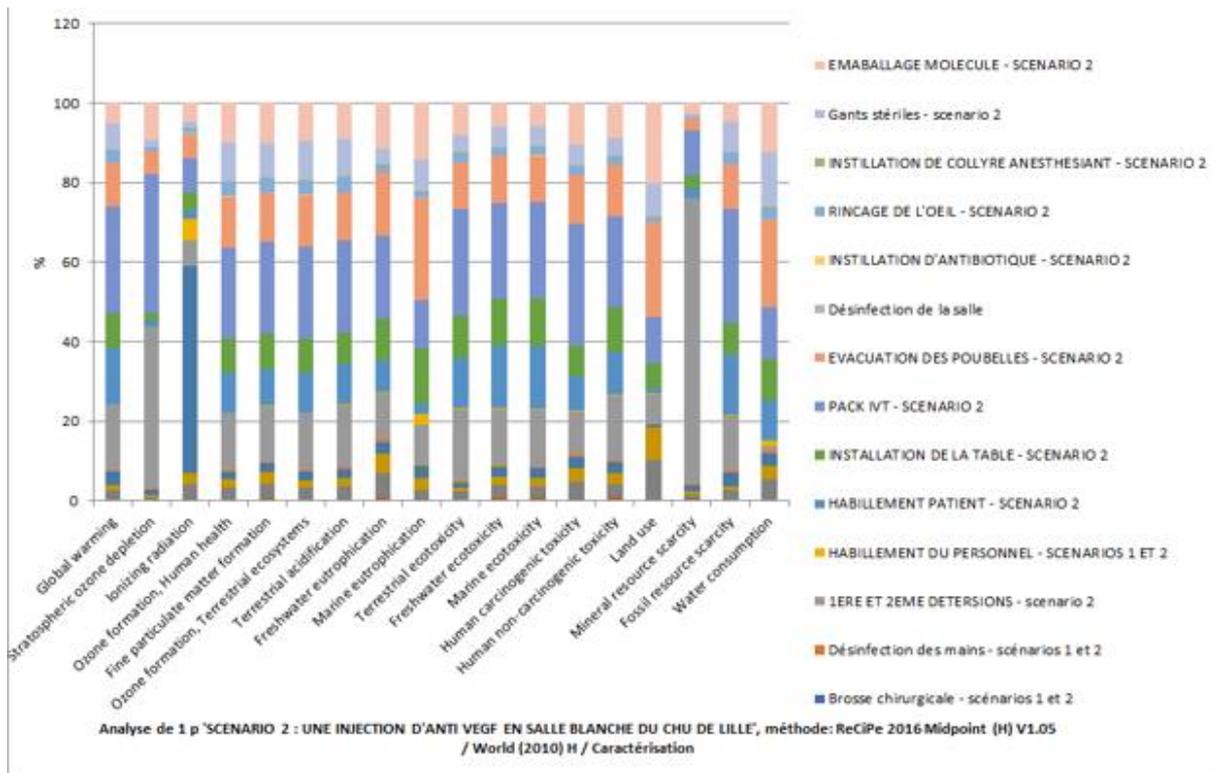


Figure 25 Détail de chaque impact environnemental en unité François du CHU de Lille

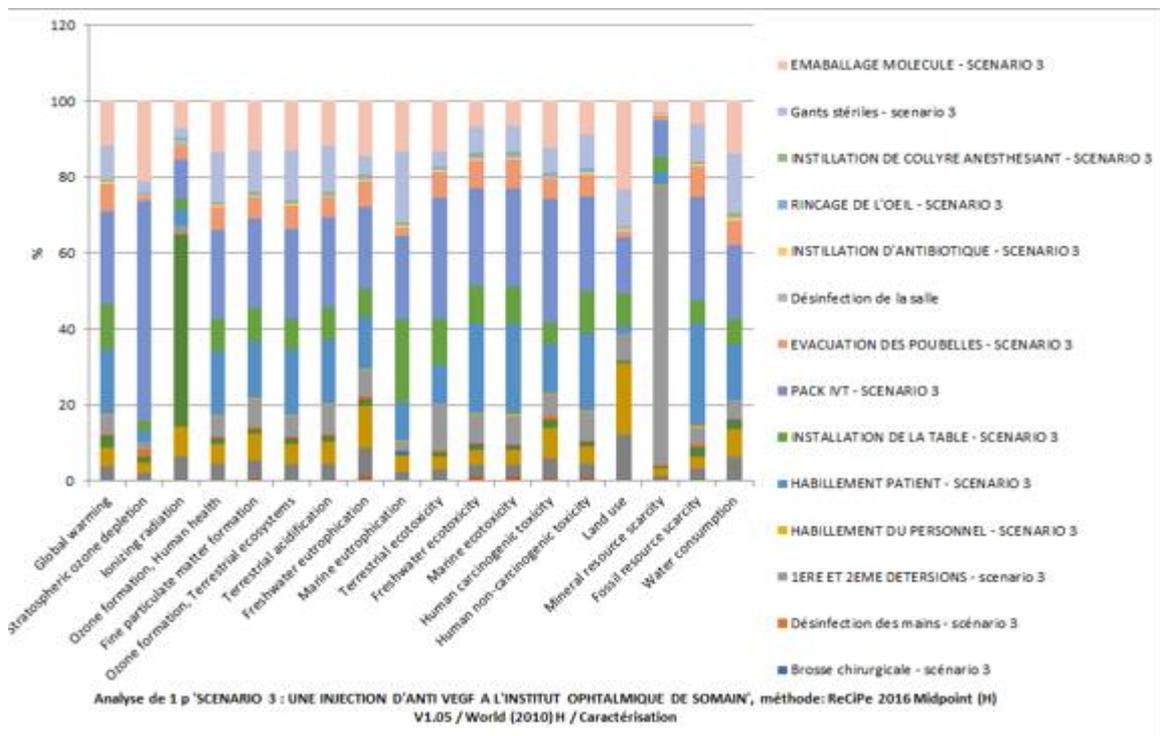


Figure 26 Détail de chaque impact environnemental à l'Institut Ophtalmique de Somain

Le pack IVT du CHU de Lille est responsable de 2,16 fois plus d'émissions de GES que le pack IVT de l'Institut Ophtalmique de Somain.

La solution de rinçage du CHU de Lille est responsable de l'émission de 70 geqCO₂ de GES, celle de l'Institut Ophtalmique de Somain 3,5 geqCO₂ de GES, soit 19,98 fois plus.

3.1.2.2.2 Focus sur les consommables du bloc opératoire du CHU de Lille

Les impacts et les pourcentages énoncés plus bas correspondent à la part que représente l'objet analysé dans les émissions de GES d'une IVT réalisée au bloc opératoire du CHU de Lille en prenant en compte les catégories consommables et énergie.

Tableau 10 Pourcentage relatif de la part du pack IVT sur mesure et du pack déterision du CHU de Lille dans chaque catégorie d'impact

	Pack IVT sur mesure	Pack detersion
Réchauffement climatique	33,2901	19,9412
Depletion en ozone stratosphérique	33,9965	39,9124
Radiations ionisantes	2,0353	1,4647
Formation d'ozone photochimique	26,3992	16,5653
Formation de particules fines	24,9387	15,3152
Acidification terrestre	24,5788	16,5366
Ecotoxicité terrestre	35,5695	21,9781
Ecotoxicité marine	32,9247	16,989
Toxicité humaine cancérigène	33,2298	12,2704
Toxicité humaine non cancérigène	25,7809	17,7455
Utilisation des terres	11,8825	7,5321
Epuisement des ressources fossiles	34,7	16,567
Epuisement des ressources en eau	7,1027	0,6847

Le pack IVT sur mesure est responsable d'un impact carbone de 699 gCO₂eq. Ce pack IVT correspond à 23,5 % des impacts globaux ; 33% sur le réchauffement climatique et 33% sur la toxicité environnementale (tableau 10).

Les objets non utilisés du pack IVT sur mesure sont responsables d'un impact carbone de 195 gCO₂eq ce qui représente 27,93 % de l'impact carbone du pack IVT sur

mesure, avec la pince en polyamide représentant à elle seule 22,6 % de l'impact du pack. Ceci représente également 9,28% de l'impact carbone d'une IVT.

Au sein de ce pack, 51% de l'impact carbone est dû à la fabrication des matières plastiques, 42% à la gestion des déchets, 6% à la fabrication des autres matières et 2% au transport des produits (le siège de l'entreprise en France a été pris en compte comme lieu de fabrication ce qui a probablement sous-estimé la part du transport).

La pince en polyamide du pack IVT sur mesure correspond à 22,6% des émissions de GES du pack. Les champs de table et de tête correspondent à 59,5% des émissions du pack (figure 27).

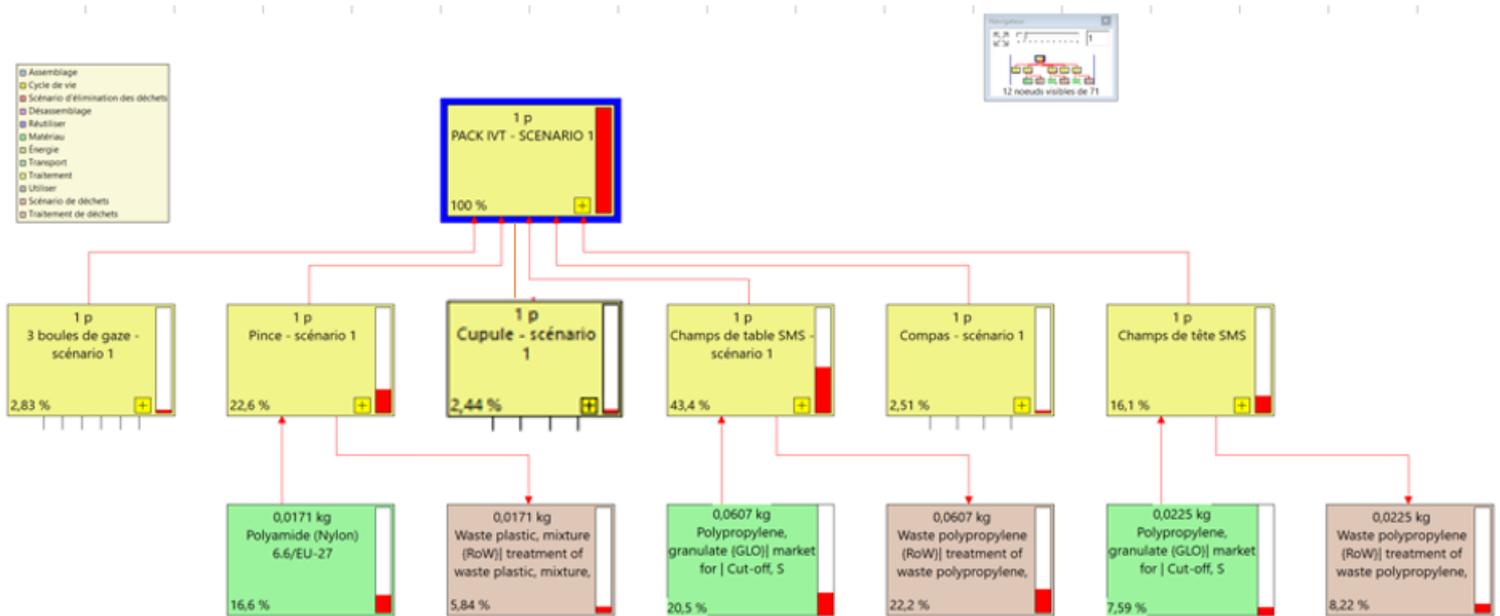


Figure 27 Décomposition de l'impact carbone du pack IVT sur mesure au CHU de Lille

Le pack déterision du CHU est responsable d'un impact carbone de 363 gCO₂eq. Ce pack déterision est responsable de 18% de l'impact global, de 17,28 % du réchauffement climatique et de 40% de la réduction de la couche d'ozone stratosphérique d'une IVT (tableau 10). La pince en polyamide ce de pack est responsable de 37,7% des émissions de GES et de 76,9% de la réduction de la couche d'ozone stratosphérique du pack (figure 28).

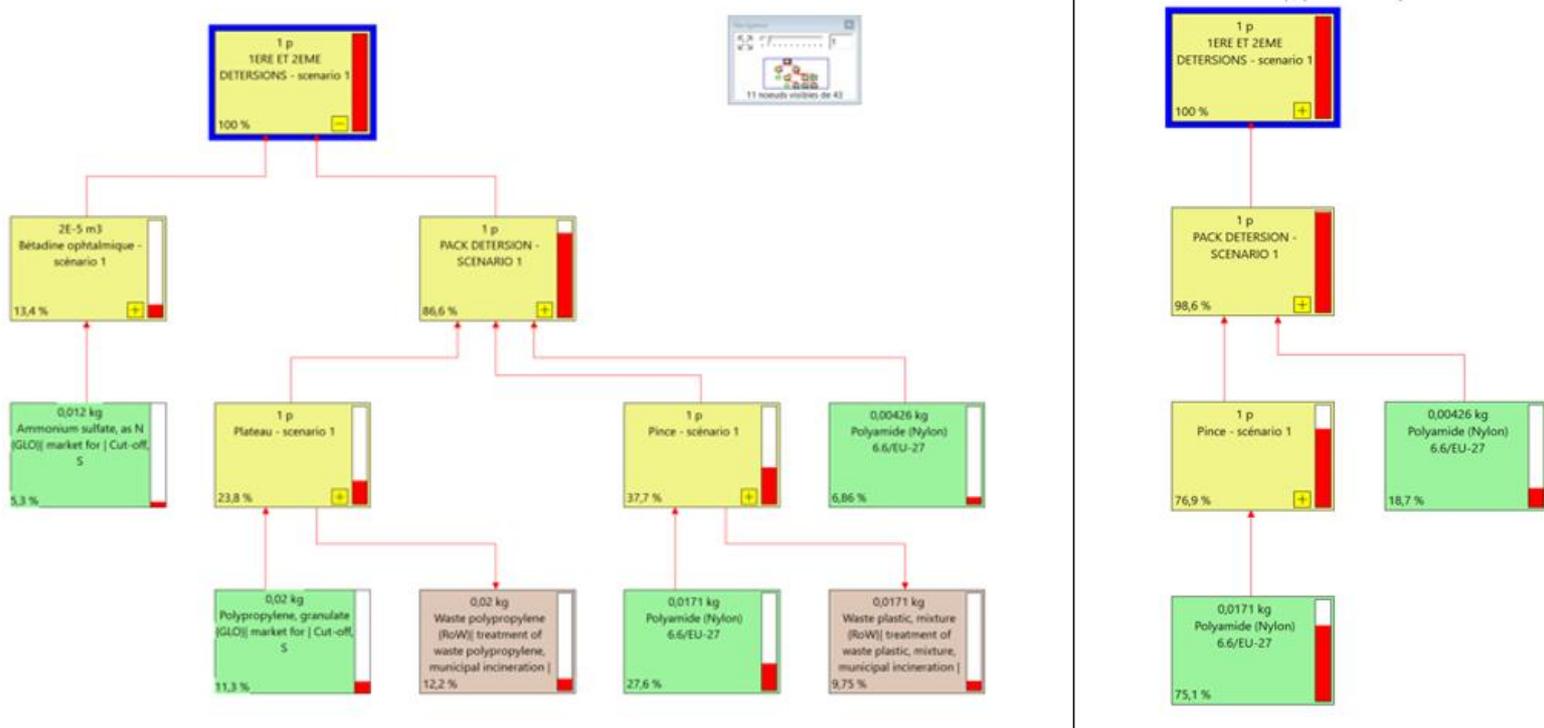


Figure 28 Décomposition de l'impact carbone (à gauche de la figure) et de la réduction de la couche d'ozone stratosphérique (à droite de la figure) du pack déterision au CHU de Lille

L'impression des étiquettes est responsable d'un impact carbone de 58 gCO₂eq. Cela représente 2,77 % de l'impact carbone d'une IVT.

L'emballage des différentes molécules est responsable de 8% de l'impact global d'une IVT ; de 5,5% de l'impact sur le changement climatique ; de 20% de l'utilisation des terres. Pour l'utilisation des terres, cela est dû à l'emploi du carton d'emballage et à la notice qui nécessitent des ressources naturelles (arbres) et donc de l'espace.

L'impact carbone de l'emballage est de 101 gCO₂eq pour le Ranibizumab (Lucentis), 101 gCO₂eq pour l'Aflibercept (Eylea), 308 gCO₂eq pour l'implant de dexaméthasone (Ozurdex) et 520 gCO₂eq pour le Bevacizumab (Avastin). L'emballage du Bevacizumab a un impact carbone 5,15 fois supérieur à celui du Ranibizumab et de l'Aflibercept.

De même l'emballage du Bevacizumab à un impact environnemental plus important que les autres molécules dans quasiment toutes les catégories d'impacts, hormis pour l'utilisation des terres puisque son emballage se compose exclusivement de plastique (figure 29).

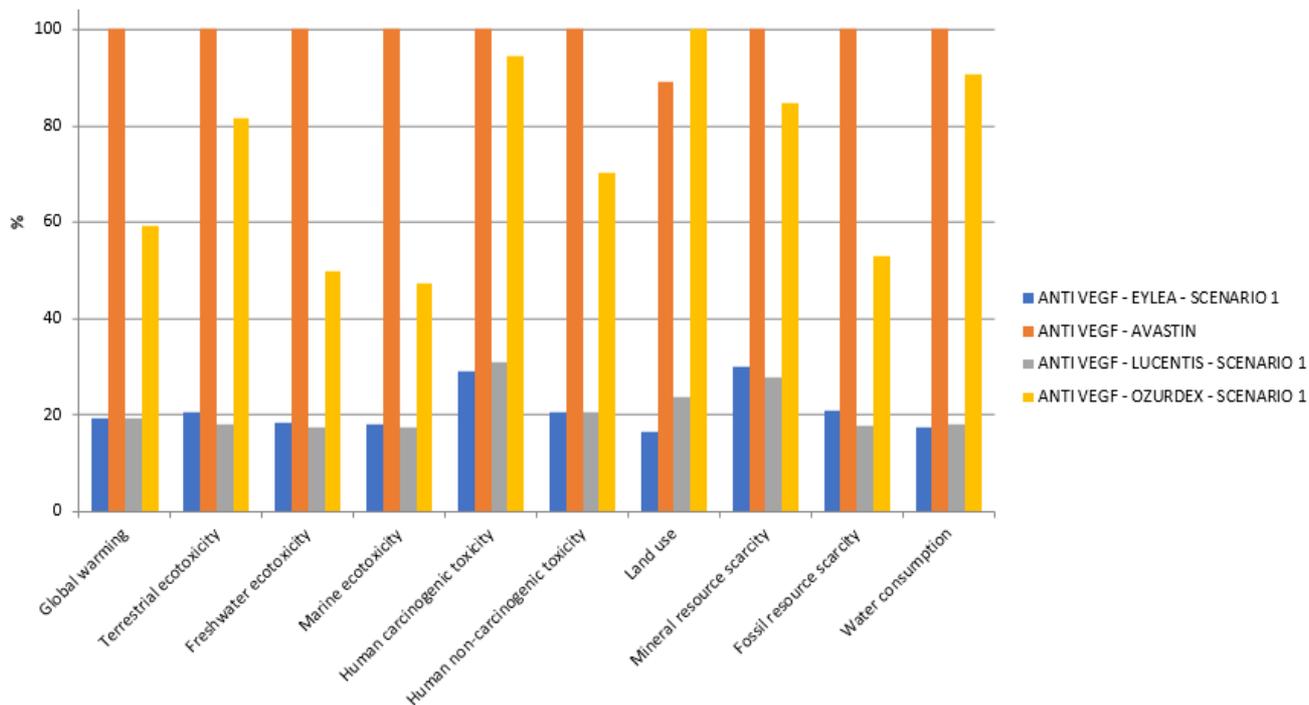


Figure 29 Impact environnemental des emballages des molécules dans les différentes catégories d'impact

Au CHU de Lille, les blouses patients jetables en plastique ont un impact carbone 1,56 fois plus important que les blouses pour patients en coton réutilisables 40 fois. Cependant l'impact environnemental des blouses s'inverse dans les catégories « épuisement des ressources en eau », « formation de particules fines », « eutrophisation », « toxicité humaine », « formation d'ozone photochimique », « surfaces de terres occupées », et « épuisement des ressources non renouvelables » (figure 30). La blouse réutilisable consomme notamment 16,54 fois plus d'eau que la blouse jetable. La fabrication de la blouse réutilisable en coton est responsable de 41% de la consommation en eau d'une IVT.

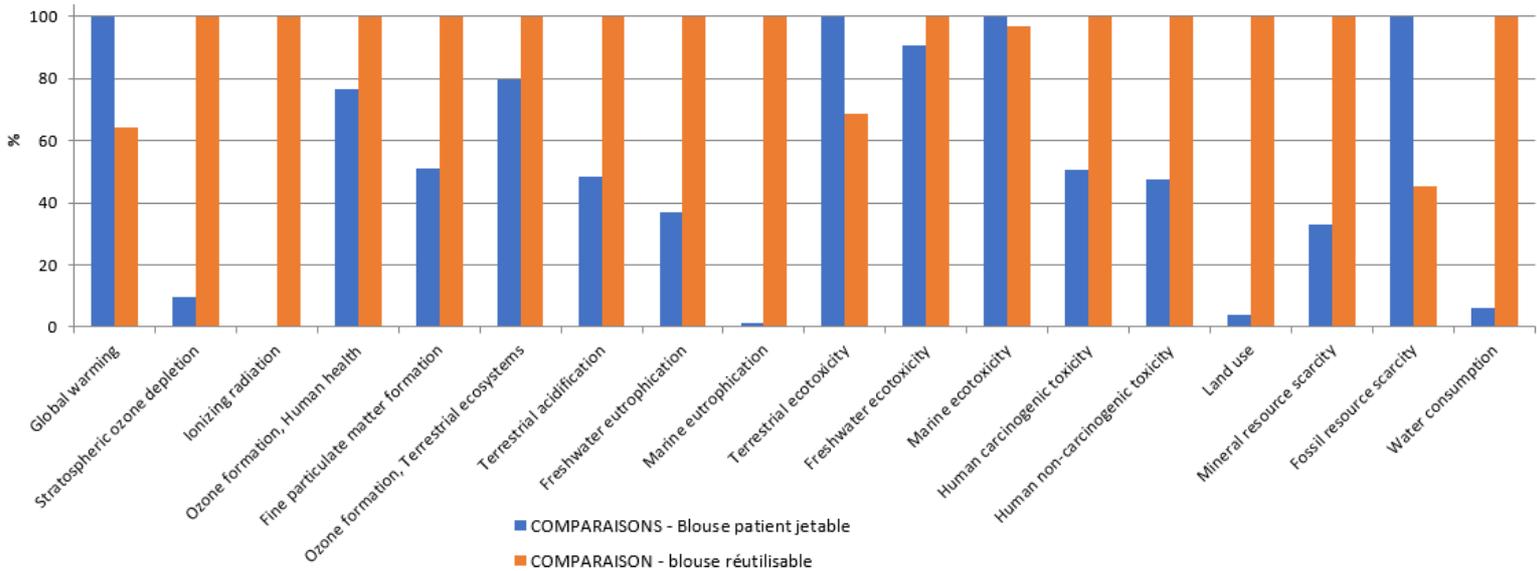


Figure 30 Comparaison de l'impact environnemental de la blouse patient jetable en plastique et la blouse patient réutilisable en coton dans les différentes catégories d'impact

3.1.2.3 Focus sur le transport des consommables à l'Institut Ophtalmique de Somain

Le transport cumulé pour les objets composant le pack IVT sur mesure de l'Institut Ophtalmique de Somain était de 225150 kilomètres, soit 5,6 fois le tour de la Terre.

Le fait de prendre en compte l'ensemble des transports des consommables du pack, depuis son lieu exact de production, (et non le siège français de l'entreprise) augmentait de 11,42% les émissions de GES du pack pour une IVT. L'impact carbone du pack passait de 324 à 361 geqCO₂.

Les émissions de GES liées au transport des consommables du pack, lorsque l'ensemble des transports est pris en compte, depuis son lieu de production asiatique, correspond à 38 geqCO₂, soit 32 fois plus que lorsque le siège français de l'entreprise est pris en compte, qui correspond à 1,2 geqCO₂.

La part du transport des consommables dans les émissions de GES du pack passe donc de 0,37% en considérant le siège français de l'entreprise à 10,52% des émissions de GES du pack en considérant l'ensemble des transports depuis leur lieu de production asiatique.

Si l'on compare l'impact environnemental du transport des consommables du pack IVT sur mesure, en considérant l'ensemble des transports des composants, (et non le simple transport depuis le siège français de l'entreprise), sur l'ensemble des catégories d'impact on obtient la figure 31.

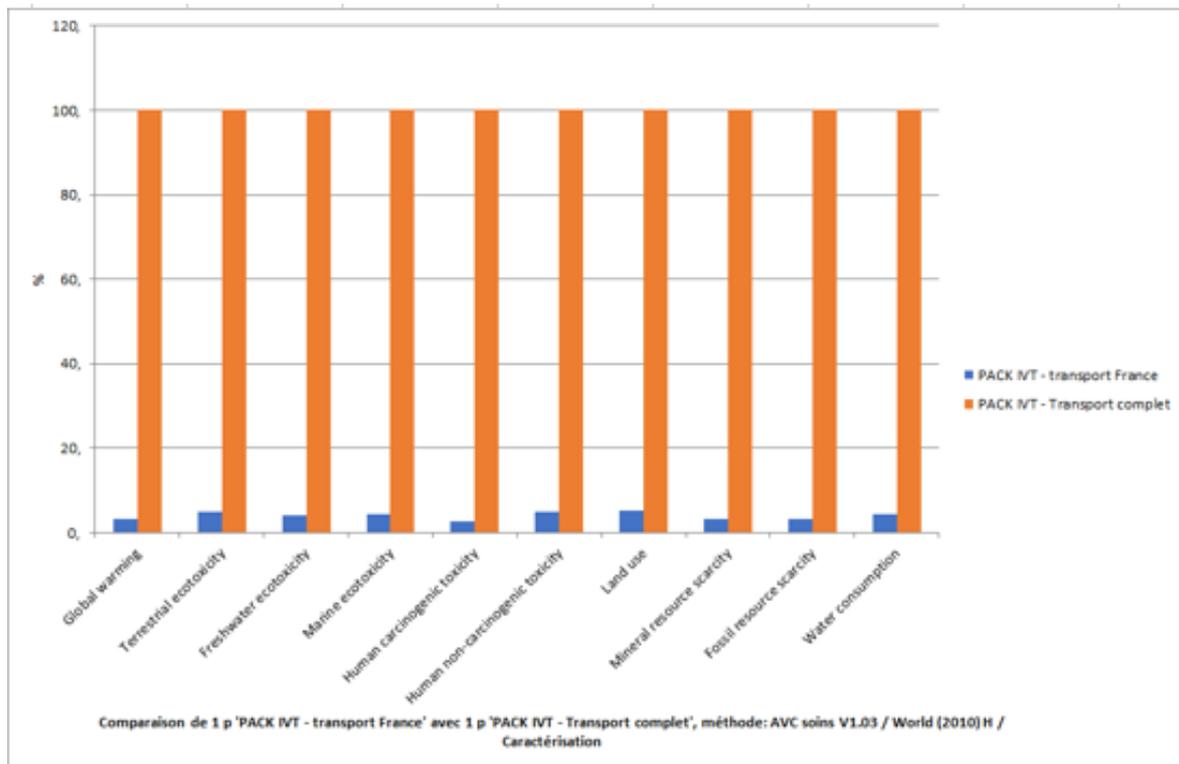


Figure 31 Comparaison de l'impact du transport du pack IVT sur mesure de l'institut Ophtalmique de Somain en considérant le lieu exact de production du pack et le siège français de l'entreprise (comme il est habituel de faire dans les études en cas de manque d'informations) sur l'ensemble des catégories d'impact

3.2 Résultats de l'audit des déchets

3.2.1 Données brutes

Lors de cette étude, 4 fouilles de sessions d'IVT ont été organisées, 4 au bloc opératoire du CHU de Lille, 4 en unité de soins du CHU de Lille et 4 à l'institut ophtalmique de Somain. Au total, les déchets de 263 injections ont été analysés (tableau 11).

Tableau 11 Caractéristiques des déchets analysés lors des différentes sessions d'IVT sur les 3 sites d'étude

Lieux	Nombre d'IVT	DASAOM Poids (g)	DASAOM sacs	DASRI Poids (g)	DASRI boîtes 2L / sacs	Recyclage Poids (g)	Recyclage sacs	Poids total (g)
CHU Bloc	22	7200	4	396	1	600	1	8196
CHU Bloc	24	7600	5	412	1	800	1	8812
CHU Bloc	24	7000	5	413	1	1000	1	8413
CHU Bloc	17	5100	3	356	1	600	1	6056
CHU Unité François	19	6700	4	6000	2	0	0	12700
CHU Unité François	25	9500	6	4900	2	0	0	14400
CHU Unité François	17	4600	3	4700	2	0	0	9300
CHU Unité François	19	400	1	8800	4	0	0	9200
Somain	26	9500	5	470	1	75,4	1	10045,4
Somain	27	9800	6	464	1	78,3	1	10342,3
Somain	20	7000	5	350	1	58	1	7408
Somain	23	8800	5	410	1	66,7	1	9276,7
TOTAL	263	83200	52	27671	18	3278,4	8	114149,4

3.2.2 Statistiques descriptives

L'audit des déchets montre que, en moyenne, une IVT génère 362 grammes de déchets au bloc opératoire du CHU de Lille, 386 grammes à l'Institut Ophtalmique de Somain et 570 grammes à l'unité François du CHU de Lille.

Au sein de ces déchets les DASAOM représentent respectivement 85,46% du poids au bloc du CHU de Lille, 46,49% à l'unité François du CHU de Lille et 94,68% à Somain. Les DASRI, représentent 5,01% du poids au BO du CHU de Lille, 53,51% en unité François et 4,57% à Somain. Les objets recyclés correspondent eux à 9,53% du

poids des déchets au BO du CHU et 0,75% à Somain. Il n'y a pas de filière de recyclage en unité François.

Le tableau 12 représente, pour chaque site, le poids des déchets par sessions, catégorisés selon la filière DASAOM, DASRI et recyclage. Y apparaît également le pourcentage relatif de chacune de ces catégories de déchets ainsi que le poids moyen de déchets dans chaque catégorie pour 1 IVT.

Tableau 12 Répartition des déchets par catégories (DASAOM, DASRI, recyclage) par site

Lieux	Nombre d'IVT	DASAOM Poids (g)	DASRI Poids (g)	Recyclage Poids (g)	Poids total (g)
CHU Bloc	22	7200	396	600	8196
CHU Bloc	24	7600	412	800	8812
CHU Bloc	24	7000	413	1000	8413
CHU Bloc	17	5100	356	600	6056
TOTAL	87	26900	1577	3000	31477
Moyenne (/IVT)		309,20	18,13	34,48	361,80
%		85,46%	5,01%	9,53%	100%
Lieux	Nombre d'IVT	DASAOM Poids (g)	DASRI Poids (g)	Recyclage Poids (g)	Poids total (g)
CHU Unité François	19	6700	6000	0	12700
CHU Unité François	25	9500	4900	0	14400
CHU Unité François	17	4600	4700	0	9300
CHU Unité François	19	400	8800	0	9200
TOTAL	80	21200	24400	0	45600
Moyenne (/IVT)		265,00	305,00	0,00	570,00
%		46,49%	53,51%	0%	100%
Lieux	Nombre d'IVT	DASAOM Poids (g)	DASRI Poids (g)	Recyclage Poids (g)	Poids total (g)
Somain	26	9500	470	75,4	10045,4
Somain	27	9800	464	78,3	10342,3
Somain	20	7000	350	58	7408
Somain	23	8800	410	66,7	9276,7
TOTAL	96	35100	1694	278,4	37072,4
Moyenne (/IVT)		365,63	17,65	2,90	386,17
%		94,68%	4,57%	0,75%	100%

La figure 32 représente le poids moyen des déchets d'une IVT classé par catégories (DASAOM, DASRI, recyclage) pour chaque site.

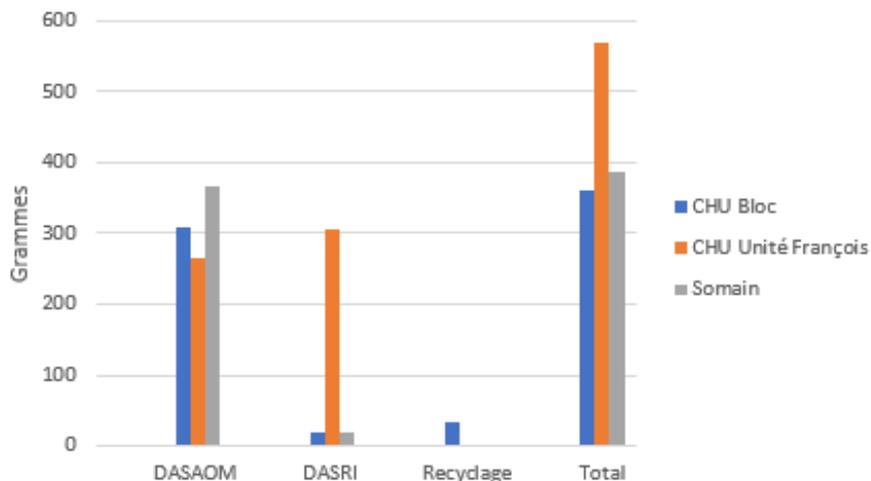


Figure 32 Poids moyen des déchets pour une injection par catégorie (DASAOM, DASRI, recyclage) par site

L'unité François du CHU de Lille est le site d'injection qui génère le plus de déchets par injection (570g), le bloc opératoire du CHU de Lille est celui qui en génère le moins (362g). L'unité François produit 57% de déchets en plus que le bloc opératoire par injection.

La figure 33 illustre la répartition des déchets pour une IVT par catégories (DASAOM, DASRI, recyclage) pour chaque site.

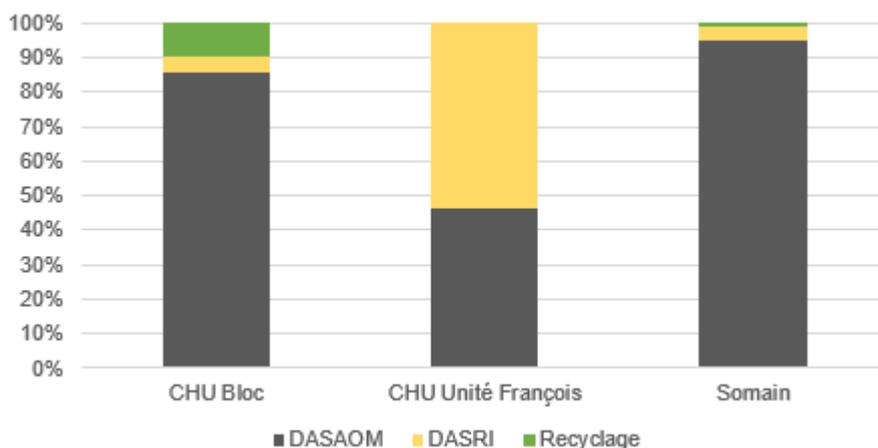


Figure 33 Répartition du poids moyen des déchets par catégories (DASAOM, DASRI, recyclage) par site

Le bloc du CHU est le site d'injection qui recycle le plus les déchets (34g soit 9,53% du poids des déchets d'une IVT), alors qu'il n'y a aucun recyclage (0%) en unité François du CHU de Lille.

Concernant la production de DASRI, elle est la plus importante en unité François du CHU de Lille (305g soit 53,51% du poids des déchets d'une IVT), elle est moindre au CHU au bloc opératoire (18,13g soit 5,01% du poids des déchets d'une IVT) et à Somain (17,65g soit 4,57% du poids des déchets d'une IVT). L'unité François génère 1607% de DASRI en plus que le bloc opératoire par injection.

94,14% du poids des DASRI en unité François correspond à des objets qui ne répondent pas à la définition de DASRI.

Lors de cet audit, nous avons remarqué qu'au CHU de Lille (que ce soit au Bloc opératoire ou en unité François), 1 cupule, 1 pince, 3 boules de gaze du set IVT sur mesure n'étaient pas utilisées lors d'une injection. Cela représente 18,42g, ce qui représente 5,10% des déchets au Bloc opératoire et 3,24% des déchets en unité François pour une injection. Cela correspond également à 16% du poids du pack IVT.

A Somain, 2 boules de gaze, 1 pince, 1 compas du set IVT n'étaient pas utilisés lors d'une injection. Cela représente 16,60g, ce qui représente 4,30% des déchets d'une injection et 19,5% du poids du set IVT.

Si l'on considère la moyenne de ces sites, 4,20% du poids des déchets correspond à des objets du pack IVT qui n'ont pas été utilisés lors de l'injection. 16% du poids des objets du pack IVT sur mesure ne sont pas utilisés lors d'une injection.

La figure 34 illustre le pourcentage que représente le poids des objets non utilisés par rapport au poids du pack IVT.

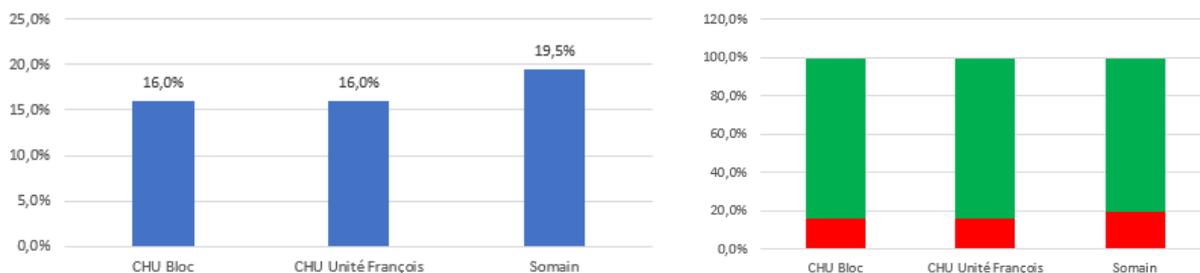


Figure 34 Pourcentage du poids des objets non utilisés par rapport à l'ensemble au poids du pack IVT par site (à gauche) et pourcentage des objets non utilisés (en rouge) par rapport aux objets utilisés du pack IVT (en vert) par site (à droite)

Au CHU de Lille, un pack déterision est utilisé pour réaliser la 1^{ère} et 2^{ème} déterision cutanée à la bétadine qui précède l'acte. Ce pack se compose d'un plateau, d'une cupule, d'une pince, de 3 boules de gaze et d'un emballage. Il pèse 50,90g. Il représente 14,07% du poids des déchets au Bloc opératoire et 8,95% du poids des déchets en unité François.

Sur les 3 sites, une feuille A4 d'étiquette est imprimée pour chaque patient bien qu'une seule de ces étiquettes ne soit utilisée par patient. La feuille d'étiquette pèse 8,54g. Elle représente 2,36% du poids des déchets d'une IVT au bloc opératoire du CHU de Lille, 1,50% du poids des déchets d'une IVT de l'unité François du CHU de Lille et 2,21% du poids des déchets d'une IVT à l'Institut ophtalmique de Somain.

Une blouse protectrice jetable pour le patient est utilisée en unité François du CHU de Lille et à Somain. Elles pèsent respectivement 45g et 65g et correspondent respectivement à 7,91% et 16,85% du poids des déchets d'une IVT.

En unité François, les poubelles DASRI se composent d'un support en carton pesant 550g. Ce support carton est responsable de 18% du poids des DASRI par IVT.

Le système d'injection (aiguille + seringue ou stylo) ainsi que l'emballage du Ranibizumab (Lucentis) pèsent au total 41,49 grammes, ceux de l'Aflibercept (Eylea) 41,55 grammes, ceux de l'implant de Dexaméthasone (Ozurdex) 199,7 grammes, et ceux du Bevacizumab (Avastin) 70,63 grammes. Ce dernier a donc un emballage 1,70 fois plus important en termes de poids que celui du Ranibizumab et de l'Aflibercept.

4 Discussion

4.1 Principaux résultats

En réalisant une analyse de cycle de vie, nous avons modélisé l'impact environnemental d'une injection intravitréenne au CHU de Lille et à l'Institut Ophtalmique de Somain.

4.1.1 Impacts environnementaux d'une injection intravitréenne

4.1.1.1 Analyse de cycle de vie

L'analyse de cycle de vie réalisée au cours de cette étude a révélé que l'impact d'une IVT sur le réchauffement climatique correspond en moyenne sur les 3 sites à l'émission de 1,92 kgeqCO₂ de GES en prenant en compte les consommables et l'énergie. Lorsque l'on y intègre le transport du patient aller-retour depuis son domicile l'impact est évalué en moyenne à 16,81 kgeqCO₂. Lorsque l'impact des médicaments et donc de la molécule en elle-même est pris en compte l'impact grimpe à 169,1 kgeqCO₂.

Nous remarquons donc qu'en fonction des paramètres pris en compte l'impact environnemental est totalement différent. Ceci montre bien la grande variabilité de résultats qui peuvent être obtenus dans les analyses de cycle de vie en fonction de la méthodologie et du périmètre de l'étude.

1,92 kgeqCO₂ de GES correspond à conduire une voiture particulière (consommant environ 7,3 litres pour 100 kms) sur 8kms ou brûler 850 ml d'essence.[34]

16,81 kgeqCO₂ de GES correspond à conduire une voiture particulière sur 68kms ou brûler 72 litres d'essence.[34]

169,1 kgeqCO₂ de GES correspond à conduire une voiture particulière sur 684kms ou brûler 7 litres d'essence.[34]

Lorsque nous nous intéressons aux paramètres énergie et consommables (paramètres sur lesquels nous pouvons agir localement), nous remarquons qu'une IVT à l'Institut Ophtalmique de Somain est responsable d'un impact environnemental moindre qu'une IVT au CHU de Lille au bloc opératoire ou en unité François dans quasiment toutes les catégories d'impact. Cet écart d'impact s'explique principalement par l'utilisation d'un pack détercion supplémentaire au CHU de Lille avec l'utilisation d'une pince en polyamide et un poids plus important du pack IVT sur mesure (le champ de table et le champ de têtes sont de dimensions supérieures notamment). Ainsi le bloc opératoire et l'unité François du CHU de Lille génèrent par exemple respectivement 54,41% et 68,38% de GES en plus que l'Institut Ophtalmique de Somain. L'unité François et le bloc opératoire du CHU de Lille sont responsables d'une déplétion en ozone stratosphérique respectivement 2,61 et 2,54 fois plus importante que l'Institut Ophtalmique de Somain.

Nous remarquons également que le pack IVT sur mesure et le pack détercion (lorsqu'il est utilisé) participent de façon non négligeable à l'ensemble des impacts environnementaux. Le pack IVT sur mesure correspond à 23,5 % de l'impact global ; 33% sur le réchauffement climatique et 33% sur la toxicité environnementale. Le pack détercion correspond à 18% de l'impact global ; 17,28 % sur le réchauffement climatique et 40% de la réduction de la couche d'ozone d'une IVT.

Les objets non utilisés du pack IVT sur mesure sont responsables d'émissions de GES non négligeables (195 geqCO₂) ce qui représente 27,93 % de l'impact carbone du pack IVT sur mesure, avec la pince en polyamide représentant à elle seule 22,6 % de l'impact du pack. Ceci représente également 9,28% de l'impact carbone d'une IVT.

En ce qui concerne les origines des émissions, lorsqu'il est pris en compte, le transport aller-retour du patient en VSL-Taxi représente en moyenne sur les 3 sites d'études, 88,92% de l'impact sur le réchauffement climatique.

Il est parfois difficile d'obtenir les lieux de fabrications précis des objets utilisés auprès des fabricants. Nous avons cependant réussi à déterminer le transport cumulé pour les objets composant le pack IVT sur mesure de l'Institut Ophtalmique de Somain. Il est de 225150 kms soit 5,6 fois le tour de la Terre. Le fait d'utiliser le lieu exact de

production du pack augmentait de 11,42% les émissions de GES du pack. La part du transport des consommables dans les émissions de GES du pack passe donc de 0,37% (1,2 geqCO₂) en considérant le siège français de l'entreprise, à 10,52% (38 geqCO₂) des émissions de GES du pack, en considérant l'ensemble des transports depuis leur lieu de production asiatique.

4.1.1.2 Audit des déchets

L'audit des déchets montre que sur les 3 sites, en moyenne, une IVT génère 434 grammes de déchets. Dans ces 434 grammes, 316,4 grammes correspondent à des DASAOM (72,90%), 105,2 grammes à des DASRI (24,21%), et 12,4 grammes à du recyclage (2,87%).

Il peut exister des différences importantes de quantité de déchets générés par IVT entre les différents sites. En l'occurrence nous notons que l'unité François du CHU génère 57% de déchets en plus (570g) que le BO du CHU (362g) pour une IVT. De même en fonction du protocole de tri des déchets nous remarquons que la quantité de DASRI généré est très variable selon les sites. Ainsi l'unité François du CHU génère 1607% de DASRI de plus (305g) que le BO du CHU (18g) pour une IVT. 9,53% du poids des déchets d'une IVT (34g) est recyclé au BO du CHU alors qu'il n'existe pas de filière de recyclage en unité François.

94,14% du poids des DASRI en unité François correspond à des objets qui ne répondent pas à la définition de DASRI.

En moyenne sur les 3 sites 4,20% des déchets correspondent à des objets du pack qui n'ont pas été utilisés lors de l'acte. Ceci correspond en moyenne à 16% du poids du pack IVT sur mesure.

4.2 Discussion des résultats

Il existe peu d'études publiées utilisant des modèles d'analyse de cycle de vie pour déterminer l'impact environnemental d'actes ophtalmologiques. Elles se sont principalement intéressées à la chirurgie de la cataracte.

4.2.1 Comparaison des résultats avec les données de la littérature

4.2.1.1 Analyse de cycle de vie

4.2.1.1.1 Emissions de gaz à effet de serre d'une IVT

Ces données sont cohérentes avec les résultats des études d'impact environnemental de la chirurgie de la cataracte notamment.

Le Docteur Zaluski avait trouvé un impact carbone de 17,45 kgeqCO₂ pour une chirurgie de cataracte en France, en ne prenant pas en compte le transport du patient et des équipes.[5] En ne prenant pas en compte le transport du patient ni les molécules nous retrouvons en moyenne sur les 3 sites d'études des émissions de GES de 1,89 kgeqCO₂ pour une IVT soit 9,23 fois moins ce qui semble cohérent du fait de la moindre utilisation de matériel pour une IVT et d'un champ opératoire plus petit.

4.2.1.1.2 Impact environnemental de la catégorie « énergie »

La part relative de la partie énergie dans la part globale de l'impact carbone d'une IVT est bien moins importante dans notre étude par rapport aux études sur la chirurgie de la cataracte.

Ainsi Thiel et Al retrouvaient que la partie énergie était responsable de 10 à 25% de l'impact dans toutes les catégories de facteurs d'impact pour une chirurgie de cataracte.[3] Morris et Al en Angleterre et le Docteur Zaluski en France avaient montré que la partie énergie représentait respectivement 36,1% et 61,90% de l'impact carbone d'une chirurgie de cataracte.[4],[5] Peut-être que cette différence peut s'expliquer par le fait qu'une partie importante des instruments de chirurgie de cataracte sont stérilisés dans des unités de stérilisation énergivores alors que pour une IVT tous les instruments sont jetables. Puisque nous n'utilisons aucun matériel réutilisable pour une IVT, aucune stérilisation n'est nécessaire et le besoin en énergie est moindre. De plus, dans ces études sur la chirurgie de la cataracte, la consommation d'énergie a été déterminée en rapportant la consommation globale de l'établissement au rapport de surface représenté par l'unité d'Ophtalmologie. Dans notre étude nous avons pris uniquement en compte la consommation énergétique de la salle d'injection, qui a une surface moindre comparée à la surface de l'unité d'Ophtalmologie. De plus, la forte variabilité des émissions de gaz à effet de serre dues à la consommation d'énergie entre les études démontre l'importance de l'intensité carbone de l'approvisionnement local en électricité. L'électricité est une énergie qui a un impact environnemental peu élevé dans cette étude. Cela s'explique également par le contenu carbone de l'électricité française relativement faible. En effet, l'énergie nucléaire génère une très faible quantité de carbone dans l'atmosphère. Par ailleurs, la part du nucléaire dans le mix énergétique français est élevée (78%), alors qu'au niveau mondial celle-ci est seulement de 13,8%.[51] Mc Gain et Al font référence à cela et le discute dans plusieurs études en soulignant l'importance de la source de production d'électricité sur les émissions polluantes.[27] [74] [75]

4.2.1.1.3 Impact environnemental de la catégorie « transport patient »

En ce qui concerne les origines des émissions, lorsqu'il est pris en compte, le transport aller-retour du patient en VSL-Taxi représente en moyenne sur les 3 sites d'étude 88,92% de l'impact sur le réchauffement climatique. Nous trouvons une part relative du transport bien plus importante pour une IVT comparativement à une chirurgie de cataracte.

Morris et Al avaient montré que pour une chirurgie de cataracte le transport du patient et des équipes représentait 10,1% de l'impact carbone de l'acte.[4] Ceci peut s'expliquer par le fait que l'impact carbone des consommables et de l'énergie pour une IVT est moindre que celui d'une chirurgie de cataracte. Par ailleurs, l'impact environnemental du transport en utilisant la base de données EcoInvent[108] est plus important car il prend en compte à la fois l'extraction du carburant et sa combustion mais également l'utilisation de la voiture (construction, entretien, fin de vie), contrairement à la Base Carbone[51] ou au *Green House Gas Protocol (GHG protocol)*[30] qui ne prennent en compte que l'extraction du carburant et sa combustion. De plus le transport aller-retour moyen d'un patient dans notre étude était de 46,84 kms. La distance importante peut venir du fait que le CHU de Lille constitue un site de référence, notamment en rétine médicale et chirurgicale. De plus, il bénéficie d'un recrutement important via un système d'urgence très développé et connu des patients dans la région, expliquant que les patients fassent plus de kilomètres pour s'y faire soigner, et donc bénéficier des IVT.

4.2.1.1.4 Comparaison de l'impact environnemental des textiles médicaux jetables et réutilisables

Au cours de cette étude, nous avons comparé l'impact environnemental de l'utilisation de blouses de protection pour patient à usage unique et réutilisable 40 fois. Cette comparaison nous permet de dire qu'il n'y a pas une solution plus vertueuse que l'autre sur l'ensemble des impacts environnementaux. Au contraire, selon l'impact regardé, la blouse à usage unique sera parfois plus impactante, c'est le cas pour les catégories « épuisement des ressources en eau », « formation de particules fines », « eutrophisation », « toxicité humaine », « formation d'ozone photochimique », « surfaces de terres occupées », et « épuisement des ressources non renouvelables » (figure 36). Les blouses réutilisables en coton consomment notamment 16,54 fois plus d'eau que les jetables. Ainsi en prenant uniquement en compte les émissions de GES, on pourrait passer à côté de ces paramètres.

Dans ces conditions et avec les paramètres de l'étude, il sera donc impossible d'affirmer que la blouse pour patient en coton à usage multiple sera toujours plus

vertueuse que la blouse à usage unique et inversement. Il serait intéressant de savoir à partir de quand il est plus intéressant d'utiliser du lavable plutôt que du jetable.

Le coton, à la base de la fabrication des blouses, est responsable d'une part importante de l'impact environnemental de ces blouses.

Ces données sont cohérentes avec l'étude de Campion et Al qui cherchait à calculer l'impact environnemental des packs chirurgicaux sur mesure.[63] Les auteurs retrouvaient que le coton (à la base de la composition de certains compresses et pansements épongeant) qui représentait 20% du poids des déchets en moyenne, possédait l'impact environnemental le plus important dans l'ensemble des catégories. On estime que la production agricole et la fabrication textile d'1 kilogramme de coton aux Etats-Unis est responsable de l'émission de 9kg de CO2 équivalents et consomme presque 19 mètres cubes d'eau. En effet, cette filière est connue pour être l'une des plus néfastes pour l'environnement alors qu'elle représente 40% de la production totale de textile. Dans le monde, cette culture couvre en effet 2,5% des terres cultivées, absorbe 25% des pesticides utilisés et est la troisième culture la plus consommatrice d'eau après le riz et le blé.[64]

Ainsi nos résultats vont dans ce sens et illustrent l'impact environnemental majeur du coton. Le coton est donc une matière à bannir du linge pour éco concevoir le soin.

L'agence Primum Non Nocere avait comparé au cours d'un rapport les impacts environnementaux de différents textiles bruts (figure 35). Cette comparaison permet de mettre en avant l'impact du coton, qui est au moins 2 fois plus élevé que tous les autres textiles, et ce sur l'ensemble des impacts environnementaux étudiés.

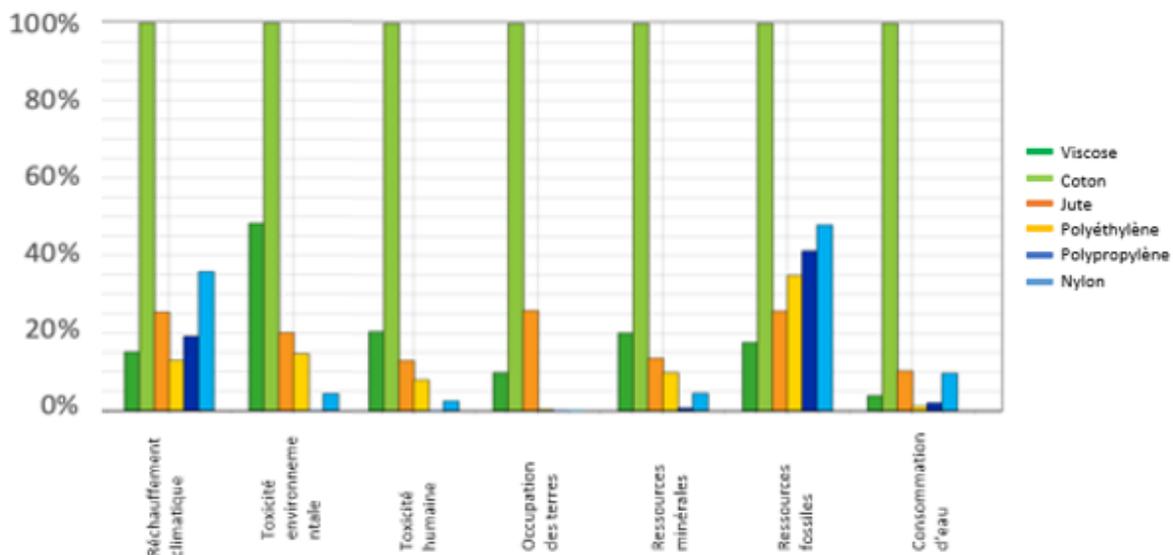


Figure 35 Comparaison de l'impact environnemental de différents textiles médicaux d'après les données de l'agence Primum Non Nocere

4.2.1.2 Audit des déchets

L'étude française réalisée en 2012 par le Docteur Zaluski et l'agence Primum Non Nocere avait retrouvé qu'une chirurgie de cataracte réalisée dans un centre était responsable de la production de 2,33kg de déchets dont 1,5kg de DASRI (64,4%) et 830g de DASAOM (35,6%).[5] Nous remarquons donc qu'en se comparant à cette valeur une IVT génère en moyenne 5,31 fois moins de déchets qu'une chirurgie de cataracte. L'utilisation d'un champ opératoire plus petit et l'utilisation moindre de matériel explique ces résultats. Les DASRI représentent une proportion moindre des déchets (21%) pour une IVT.

Lors de cette étude nous sommes entrés en contact avec des ophtalmologistes de l'unité de rétine de l'hôpital Aravind de Pondichéry en Inde. Nous avons développé précédemment cette structure Indien connue pour son efficacité sur le plan environnemental. Au sein de ce service sur l'année 2019 ils ont réalisé 6809 IVT de Bévacizumab (Avastin), 107 IVT de Ranibizumab (Lucentis), 34 IVT d'Aflibercept (Eylea) et 53 IVT de Dexaméthasone (Ozurdex). Nous avons demandé à un praticien de peser tous les déchets liés à plusieurs sessions d'injections. En moyenne ils

gènèrent par IVT 128,27 grammes de déchets par IVT. Nous générons donc en moyenne sur les 3 sites d'études 3,38 fois plus de déchets qu'à l'hôpital de Pondichéry.

4.2.2 Extrapolation des résultats

Le nombre d'injections intravitréennes réalisées en France atteint 1267190 IVT en 2019 sans prendre en compte le Bevacizumab (Avastin 1,25mg) dont les données d'injections intravitréennes n'ont pas été comptabilisées au niveau national.[101]

4.2.2.1 Analyse de cycle de vie

En extrapolant l'impact carbone moyen d'une IVT sur les 3 sites d'études à l'ensemble des IVT réalisées en France, sur 1 an, cela représente 2433 tonnes eqCO₂ en prenant en considération l'énergie et les consommables. Cela correspond aux émissions de 538 véhicules personnels pendant 1 an (en considérant un véhicule de consommation moyenne, soit 7,3 litres pour 100 kms, parcourant une distance annuelle de 18600 kms) , cela correspond également à 32,2 camions citernes remplis d'essence (1 camion-citerne peut contenir environ 32176 litres d'essence), ou à la séquestration carbone de 40230 arbres qui poussent pendant 10 ans.[34]

En y ajoutant le transport du patient en faisant l'hypothèse que la distance moyenne des patients est identique à celle au CHU de Lille cela représente 21301 tonnes eqCO₂. Cela correspond aux émissions de 4633 véhicules personnels pendant 1 an, cela correspond également à 282 camions citernes remplis d'essence, ou à la séquestration carbone de 352217 arbres qui poussent pendant 10 ans.[34]

En prenant également en considération l'impact carbone de la molécule injectée, bien que le risque d'erreur soit important, cela représenterait 214282 tonnes eqCO₂. Cela correspond aux émissions de 46602 véhicules personnels pendant 1 an, cela correspond également à 2837 camions citernes remplis d'essence, ou à la séquestration carbone de 3548198 arbres qui poussent pendant 10 ans.[34]

Et le nombre d'injections semble en progression constante.

Si pour chaque IVT réalisée en France, une feuille A4 d'étiquettes était imprimée, sur 1 an cela serait responsable d'un impact carbone de 73,5 tonnes eqCO₂. Cela correspond aux émissions de 16 véhicules personnels pendant 1 an, cela correspond également à 1 camion-citerne rempli d'essence, ou à la séquestration carbone de 1215 arbres qui poussent pendant 10 ans.[34]

Si pour chaque IVT réalisée en France, il y avait les mêmes objets non utilisés du pack IVT sur mesure qu'au sein de cette étude, cela serait responsable de l'émission de 247,1 tonnes CO₂eq de GES. Cela correspond aux émissions de 53,7 véhicules personnels pendant 1 an, cela correspond également à 3,3 camions citernes rempli d'essence, ou à la séquestration carbone de 4084 arbres qui poussent pendant 10 ans.[34]

Si pour chaque IVT réalisée en France, un pack déterision similaire au pack déterision du CHU de Lille était utilisé, cela serait responsable d'un impact carbone de 458,8 tonnes CO₂eq. Cela correspond aux émissions de 100 véhicules personnels pendant 1 an, cela correspond également à 6,1 camions citernes rempli d'essence, ou à la séquestration carbone de 7590 arbres qui poussent pendant 10 ans.[34]

La différence d'émissions de GES entre la solution de rinçage du CHU de Lille et celle de l'Institut Ophtalmique de Somain, multipliée par le nombre d'IVT réalisées par an en France correspondrait à l'émission de 84 tonnes de CO₂. Cela correspond aux émissions de 18,3 véhicules personnels pendant 1 an, cela correspond également à 1,1 camion-citerne rempli d'essence, ou à la séquestration carbone de 1389 arbres qui poussent pendant 10 ans.[34]

4.2.2.2 Audit des déchets

En extrapolant à la France entière, sur 1 an, à raison de 434 grammes de déchets en moyenne par injection, environ 550 tonnes seraient générées par les IVT. Cela correspond aux déchets ménagers annuels de 1129 personnes en France (chaque français générant en moyenne 487kg de déchets ménagers par an).[116]

En imaginant que l'on génère, par an France, la même quantité de déchets par IVT qu'à Pondichéry dans le réseau Aravind (128,27 grammes), cela représenterait 163 tonnes, soit 387 tonnes de différence.

Si le protocole d'injection en France était similaire à celui de l'unité François du CHU de Lille, sur 1 an, 721 tonnes de déchets seraient générées. A contrario si le protocole était celui du BO du CHU de Lille, sur 1 an, les IVT généreraient 458 tonnes. Nous notons donc un différentiel de 263 tonnes de déchets générés par an entre ces deux protocoles d'injection extrapolé à la France entière (figure 36).

En utilisant le même raisonnement, les IVT en France seraient responsables de la création de 145,27 tonnes de DASRI. Si le protocole du CHU de Lille était appliqué, 23,21 tonnes de DASRI seraient générées. Avec le protocole de l'unité François, ce sont 391,56 tonnes. Appliqué au nombre d'injections réalisées en France par an, un différentiel de 368,35 tonnes de DASRI existe entre ces deux pratiques de tri. A raison d'environ 600 euros la tonne en moyenne le coût de traitement des DASRI en France,[82] cela reviendrait à un coût supplémentaire entre les deux pratiques de 221010 euros au niveau national. Cela correspond déjà à un coût supplémentaire de 351 euros annuel en unité François du CHU de Lille.

Nous remarquons également qu'au BO du CHU de Lille, 34,38g de déchets (correspondant à du papier et du carton) sont recyclés par IVT. En extrapolant au nombre d'IVT réalisées, en prenant en compte le fait qu'en unité François du CHU de Lille et à l'Institut Ophtalmique de Somain un tel recyclage n'est pas en place, ce sont respectivement 70,20kg et 248,29kg qui ne sont pas recyclés par an. En extrapolant au nombre d'IVT réalisé par an en France cela correspond à 43,58 tonnes qui ne sont pas recyclées mais qui pourraient l'être.

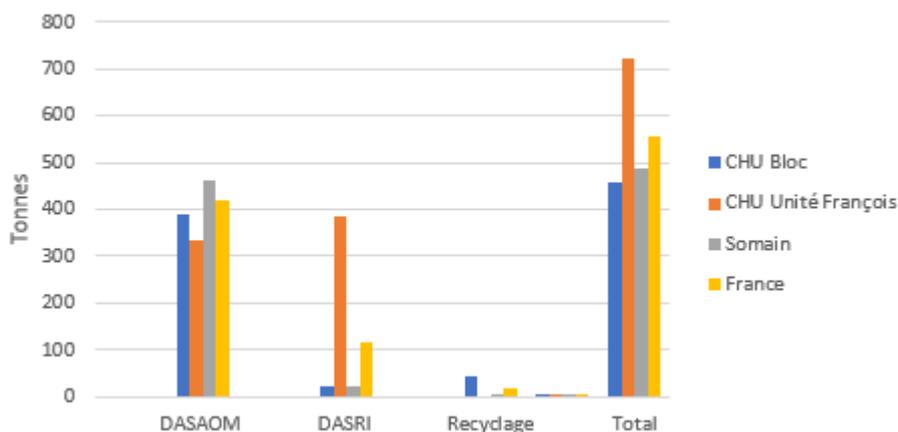


Figure 36 Extrapolation des déchets générés par les IVT en France sur 1 an par catégories (DASAOM, DASRI, recyclage)

Nous avons précédemment décrit le fait qu’au sein des packs IVT sur mesure au CHU de Lille et à l’Institut Ophtalmique de Somain respectivement 18,32 g et 16,60 g n’étaient pas utilisés. En extrapolant ce chiffre au nombre d’IVT réalisées dans ces deux structures, nous obtenons pour le CHU de Lille et pour Somain respectivement 102 kg et 120 kg d’objets non utilisés qui terminent directement leur vie à la poubelle. Si une perte similaire avait lieu pour chaque IVT réalisée en France chaque année cela reviendrait à 23,34 tonnes d’objets créés, acheminés, utilisés et non recyclés.

Au CHU de Lille un pack déterSION est utilisé pour réaliser les deux détersions cutanées précédant l’acte. Il pèse 50,90 g. Cela correspond annuellement au CHU de Lille à la création de 281,1 kg de déchets. Si un tel pack était utilisé pour chaque IVT en France, par an cela est responsable de la création de 65 tonnes.

Nous avons également détaillé le fait qu’une feuille A4 d’étiquettes était imprimée pour chaque patient. Cette feuille pèse 8,54 g. En extrapolant au nombre d’injections réalisées au CHU de Lille et à Somain, cela engendre la création respectivement de 47,15 kg et 61,68 kg de déchets par an. Si une feuille A4 d’étiquettes par patient était imprimée pour chaque IVT en France cela entraînerait la création de 10,82 tonnes de déchets. Alors que seule 1 étiquette est utilisée, soit 3,16% de la feuille imprimée, ce seraient 10,46 tonnes de papiers qui seraient imprimées pour être directement jetées.

De même une blouse patient jetable est utilisée en unité François du CHU de Lille et à l’Institut Ophtalmique de Somain. Cela entraîne respectivement 91,9 kg et 469,43 kg

de déchets par an. Si pour chaque IVT réalisée par an en France on utilise une blouse patient jetable de 65 g cela génère 82,37 tonnes de déchets.

L'utilisation d'un collyre antibiotique en fin d'injection à Somain génère annuellement 17,41kg de déchets en emballages. En extrapolant au nombre d'IVT réalisées par an en France cela correspond à 3,05 tonnes de déchets d'emballage.

L'utilisation d'un drap d'examen jetable sur lequel le patient s'installe entraîne annuellement en France la création de 65,59 tonnes de déchets.

4.3 Discussion de la méthode

Dans le cadre de cette étude, nous avons réalisé une analyse de cycle de vie dans le but de modéliser l'impact environnemental d'une injection intravitréenne au CHU de Lille et à l'Institut Ophtalmique de Somain.

4.3.1 Choix de la méthode

L'analyse de cycle de vie (ACV) est une méthode scientifique de calcul utilisée pour déterminer les émissions liées à l'utilisation d'un produit ou d'un service tout au long de son cycle de vie. Il s'agit d'une méthode bien établie, reconnue et utilisée dans la majorité des études de détermination d'impact environnemental en Santé et dans d'autres domaines.[3],[8],[9] Nous avons utilisé la référence dans les ACV en santé qui est la norme ISO 14040 :2006, qui établit des guidelines pour la réalisation de ce type d'études.[47]

Nous avons décidé d'analyser l'impact environnemental « du berceau à la tombe ». C'est-à-dire que nous avons pris en compte les émissions depuis l'extraction des matières premières, la fabrication du produit, son transport et sa distribution, son utilisation et jusqu'à sa fin de vie. Le produit ou service est en effet susceptible d'avoir des impacts environnementaux sur chacune de ces étapes.

Nous avons décidé de réaliser cette étude de façon multicentrique dans une structure publique (le CHU de Lille) et dans une structure privée (l'Institut ophtalmique de Somain) pour avoir une idée globale de l'impact environnemental de l'acte afin de pouvoir extrapoler nos résultats à la France entière. Cette démarche dépasse également les clivages structure publique-structure privée afin de tirer profits des avancées des unes et des autres au profit du développement durable.

Dans notre étude, nous avons pris en compte l'ensemble des étapes nécessaires pour effectuer une injection intravitréenne, à partir du moment où le patient entre dans la salle d'injection ou le bloc opératoire jusqu'à sa sortie de la salle d'injection ou du bloc opératoire, pour se calquer sur la méthodologie employée dans des études qui font références dans les ACV en santé.[3],[8],[9] Les consultations pré et post injection ainsi que le transport du patient et des équipes ne sont pas pris en compte et donc exclus du périmètre de cette ACV. Il aurait été pertinent de prendre cela en compte car ces étapes sont susceptibles d'alourdir de façon non négligeable l'impact environnemental de l'acte. Cependant il serait intéressant que de futures études sur le sujet prennent en compte ces paramètres dans leur analyse.

L'impact environnemental inclus dans le capital d'équipement comme la table, l'ordinateur, le cahier, la machine à laver et le séchoir de la blanchisserie ainsi que l'impact environnemental inclus dans la construction et les rénovations du bâtiment n'ont pas été pris en compte. Cet impact est considéré comme négligeable en le rapportant à un acte dans des études faisant référence dans le domaine.

Nous avons décidé de réaliser une étude hybride afin de prendre en compte l'impact environnemental du produit anti-VEGF, l'implant de Dexaméthasone et les antibiotiques utilisés. Une des façons de déterminer l'impact environnemental d'un médicament en cas de manque de données de la part du fabricant est de réaliser une analyse de cycle de vie de type Economic input-output en utilisant la valeur monétaire du médicament pour en déterminer son impact environnemental. Dans le cadre de cette étude cela apporte un degré d'incertitude majeur notamment du fait du prix très élevé des spécialités Lucentis (Ranibizumab) : 533,39 euros, Eylea (Aflibercept) : 565 euros et Ozurdex (Dexaméthasone) : 855 euros, notamment comparé au prix modeste de l'Avastin (Bevacizumab) : 7,59 euros. Ceci doit probablement sous-estimer les émissions du Bevacizumab et surestimer celles du Ranibizumab, de l'Aflibercept et de l'implant de Dexaméthasone. Cependant comme décrit plus haut, ce modèle n'a pas

pour ambition de comparer les impacts environnementaux des médicaments entre eux. Il nous donne une estimation des émissions relative à la fabrication de médicaments, puisque les fabricants ne possèdent pas ce type d'information. De plus, l'impact lié au développement du produit, sa fabrication, sa commercialisation et les campagnes de publicité entourant le produit sont susceptibles de générer un impact environnemental non négligeable qu'il nous a paru pertinent de prendre en compte bien que très incertain. Avec cette méthodologie l'impact environnemental des molécules Ranibizumab, Aflibercept et Dexaméthasone a probablement été surestimé, celui du Bevacizumab sous-estimé. Cependant aucune information d'impact environnemental ne nous a été transmise. Il pourrait être très intéressant de travailler en collaboration avec l'industrie pharmaceutique dans le cadre de futures études afin de déterminer le plus précisément possible l'impact environnemental de tels produits afin de leur offrir des opportunités ciblées de réductions d'impact.

Un travail de collecte de données et de recherche d'informations complémentaires a donc été réalisé. L'évaluation de l'impact environnemental d'un acte médical est un exercice complexe qui demande un travail d'investigation important. Malgré tout le soin apporté durant l'étude, cette approche reste basée sur des ordres de grandeur, tant sur le raisonnement que sur les résultats obtenus. Cette approximation scientifique est intrinsèque à la démarche, qui évalue les émissions en se basant sur des facteurs de conversion plus ou moins précis issus d'une base de données puisque dans la très grande majorité des cas, il n'est pas envisageable de mesurer directement les émissions polluantes résultant d'une action donnée. Ces facteurs d'émission résultent d'Analyses de Cycle de Vie et peuvent présenter des taux d'incertitudes importants. A ces incertitudes du modèle s'ajoutent les imprécisions relatives aux données collectées.

Rappelons que les résultats de cette étude ont pour vocation première d'engager les partenaires du projet dans une démarche active de réduction plutôt que d'être un diagnostic extrêmement précis des émissions dès la première évaluation. L'esprit général de la méthode est de donner le panorama des émissions qui sont associées aux injections intravitréennes afin de cibler des opportunités de réduction. Le pourcentage d'erreurs de l'étude est défini arbitrairement à 20%.

4.3.2 Points forts de la méthode

Cette étude a été réalisée en collaboration avec les équipes de l'agence Primum Non Nocere, qui bénéficie d'une expérience reconnue dans le domaine des ACV en Santé. Ils ont déterminé l'impact environnemental de plusieurs actes médicaux (chirurgie de la cataracte, prise de sang...). Cette collaboration a permis de réaliser cette ACV dans les règles de l'art et de garantir la robustesse méthodologique des résultats obtenus. Une conseillère en développement durable et ingénieur chimiste formée à l'ACV est intervenue sur l'aide méthodologique et technique de la réalisation de l'ACV.

Une des bases de données les plus robustes, internationalement reconnue pour son exhaustivité a été utilisée dans cette analyse (Ecoinvent version 3, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Zurich, Suisse).[108] Ceci a été permis grâce à la collaboration avec les équipes de Primum non Nocere car le logiciel SimaPro life cycle assessment software (PRé Consultants, Amersfoort, Pays-Bas), un des logiciels d'évaluation de cycle de vie les plus couramment utilisés pour la modélisation du cycle de vie nécessite une License d'exploitation qui coûte plusieurs dizaines de milliers d'euros annuellement.

Un grand nombre d'impacts environnementaux ont été évalués et pas seulement l'impact carbone à l'instar de ce qui a été réalisé au sein d'autres études en Santé et notamment sur la chirurgie de la cataracte.[3] Cela permettra également des comparaisons futures avec cet acte médical sur de nombreux paramètres. Les catégories d'impact sur la santé humaine sont pertinentes pour ceux qui élaborent des normes pour les soins de santé. De plus, les catégories d'impact de l'eutrophisation (croissance de micro-organismes due à un excès de nutriments) et de l'écotoxicité terrestre reflètent les impacts sur d'autres espèces et sur les écosystèmes et ont des implications pour la santé publique des populations.

Nous avons cherché à obtenir des données les plus fiables possibles en demandant des informations précises aux fournisseurs et fabricants sur la composition des produits, le lieu de fabrication et les transports des produits. Lorsque les données de composition n'étaient pas transmises nous avons fait analyser par des experts les produits (par exemple en utilisant le « test de combustion » pour les résines plastiques).

Quand cela était possible des données locales ont été obtenues auprès de référents des structures de soins (consommation d'électricité et de gaz des salles d'injection par exemple) pour que les données collent au maximum avec le terrain.

Nous avons audité 2 sites d'injections publics et 1 site d'injection privé pour le caractère multicentrique de l'étude. Cet aspect multicentrique nous permet de pouvoir extrapoler les résultats de l'étude au niveau national. Au regard de notre expérience dans différents centres, ces trois sites représentent bien différents modèles d'injection en France. Il existe peu de différence au niveau du matériel utilisé pour réaliser une IVT en France. Les méthodes de tri des déchets sont-elles plus variées.

4.3.3 Points faibles de la méthode

Cette étude a plusieurs limites.

Comme la plupart des modèles d'ACV, la plupart des données étaient des données moyennes de l'Industrie et n'étaient donc pas mesurées directement. Les bases de données que nous avons utilisées, cependant, ont une solide réputation internationale de robustesse.[108]

Les données d'impact environnemental n'étaient pas disponibles auprès des fabricants, donc des données de moyenne d'impact environnemental de fabrication des produits européens ont été utilisées.[108] La plupart des objets à usage unique de l'étude provenaient d'Asie et en particulier de Chine et du Pakistan. Aucune donnée d'inventaire de cycle de vie de Chine ou du Pakistan n'a été trouvée. Il est probable que l'impact environnemental des produits fabriqués en Asie ait été sous-estimé car le mix énergétique des pays asiatiques est plus tributaire du charbon.

Les facteurs d'émissions utilisés pour les produits utilisés lors de la réalisation des IVT ne sont pas spécifiques au domaine de l'Ophtalmologie ou de la Santé en général et introduisent un degré d'erreur dans les résultats difficilement quantifiable.

Les fournisseurs n'ont pas toujours participé activement dans le transfert d'informations sur leurs produits apportant un degré d'incertitude supplémentaire dans les estimations. Les fabricants pouvaient craindre soit que l'information soit transmise

à des concurrents, soit que, si l'information était fournie et que leur produit était dévalorisé dans les comparaisons, ils perdraient des marchés. Des informations plus détaillées concernant la composition des dispositifs médicaux, leur lieu de fabrication, et leur transport de la part des fournisseurs permettraient une analyse plus robuste. Les émissions relatives au transport des consommables ont très probablement été sous estimées dans l'étude, puisque lorsque nous avons comparé les transports réels du pack IVT de l'Institut Ophtalmique de Somain avec le transport estimé en prenant le siège français de l'entreprise, nous obtenions des émissions de GES 32 fois plus importantes. Les émissions de GES relatives à l'utilisation du pack augmentaient de 11,42%.

Nous avons essayé de déterminer de façon précise la consommation en électricité et en gaz des salles d'injections. Cependant aucun compteur spécifique au bloc opératoire ou à la salle d'injection n'existait, nous avons donc été contraint d'utiliser des données généralistes nationales pour la consommation énergétique du bloc opératoire du CHU de Lille et des données de consommation générales de la structure de soins rapportées à la surface de la salle d'injection pour la salle d'injection de l'Institut Ophtalmique de Somain et la salle blanche du CHU de Lille. De même, nous avons obtenu des résultats aberrants en déterminant la consommation énergétique de la machine à laver et de l'essoreuse de la blanchisserie du CHU de Lille en utilisant les données de consommation des machines. Ainsi nous avons utilisé des données généralistes de consommation énergétique par unité de linge lavé en France.

Concernant l'audit des déchets nous n'étions pas logiquement et humainement parlant capable de mesurer et d'analyser tous les déchets sur une longue période, donc nous avons extrapolé à partir d'observation de cas. En raison d'une activité professionnelle parallèle, les pratiques d'un seul injecteur ont été auditées à l'Institut Ophtalmique de Somain. Ces pratiques ne sont peut-être pas représentatives de tous les injecteurs de la structure et des pratiques privées en France. Nous sommes susceptibles d'avoir induit un biais et avoir manqué des données.

L'injection unitaire d'un implant de Dexaméthasone (Ozurdex) est responsable de plus de déchets qu'une injection unitaire d'anti-VEGF. Nous n'avons pas standardisé l'audit des déchets sur le nombre d'Ozurdex ce qui est susceptible d'avoir introduit un biais. Cependant l'implant de Dexaméthasone (Ozurdex) représentait une faible part des

IVT, et l'audit des déchets a été réalisé au hasard, « en vrai vie » au sein des sites d'étude.

Finalement même si les injecteurs et le staff paramédical n'étaient pas impliqués directement dans le recueil et l'analyse des données, ils étaient au courant de la nature de l'étude en cours, ce qui a pu influencer leur utilisation du consommable ainsi que la destination des déchets en se sachant observés. Si ces changements de comportement étaient arrivés de façon notable, nous aurions pu avoir un biais concernant l'audit des déchets.

De plus le processus de traitement des déchets par « banalisation » n'avait jamais été modélisé dans des études d'analyse d'impact environnemental. Les données concernant le processus de traitement des déchets par « banalisation » étaient incomplètes ce qui a été source d'incertitude lors de la modélisation.

Dans cette étude nous n'avons pas pris en compte les infections intraoculaires secondaires aux injections. Il pourrait être intéressant de le faire dans d'autres études de ce type notamment pour vérifier si les nouvelles solutions de réduction d'impact environnemental (type pack réutilisable par exemple) n'apportent pas de surrisque infectieux aux patients.

Il doit être précisé que le matériel utilisé au CHU de Lille et à l'institut Ophtalmique de Somain ainsi que la consommation énergétique des bâtiments sont susceptibles d'être différents dans d'autres structures de soins entraînant un biais dans l'extrapolation des résultats au niveau national.

Une autre limitation à l'extrapolation des résultats de l'étude est la probable variation des émissions en fonction des protocoles d'injection, qui diffèrent selon les structures de soins que ce soit en France et encore plus au niveau international.

L'estimation des émissions au niveau national des IVT sur la base d'un échantillon très limité implique un degré élevé d'incertitude, mais malgré cela, nous pensons que même une estimation grossière est bénéfique pour aider les services d'ophtalmologie à se situer dans le contexte plus large de l'impact environnemental des soins de santé.

Nous n'avons pas mis en place de questionnaire patient pour déterminer précisément les moyens de transport des patients (VSL-Taxi, transport en commun, moyen de transport individuel). La patientèle bénéficiant d'IVT étant âgée, et au vu des résultats de l'étude du Docteur Thomann,[107] nous avons considéré que le transport

s'effectuait par véhicule léger pour chaque IVT dans cette étude. Ceci est susceptible d'avoir légèrement surestimé l'impact environnemental du transport patient.

Nous n'avons pas réalisé d'analyse de Monte-Carlo. Une analyse Monte Carlo comprend au moins 1 000 « séries » d'échantillons aléatoires pour réduire le risque de résultats inhabituels ; c'est-à-dire en prenant les données d'entrée des extrêmes des intervalles de confiance à 95 %. L'analyse du logiciel Monte Carlo SimaPro implique au moins 1 000 « séries » d'échantillonnage aléatoire pour réduire la probabilité de résultats inhabituels. Ces « exécutions » informatiques nécessitent de nombreuses heures de temps informatique pour l'échantillonnage aléatoire de toutes (plusieurs milliers) les données. Notre ordinateur n'a pas réussi à effectuer cette simulation.

4.4 Pistes d'amélioration des pratiques

Cette analyse de cycle de vie a permis de mettre en évidence et d'illustrer les effets environnementaux de la réalisation d'une IVT. Elle permet également de cibler des opportunités d'action.

Les résultats de cette étude peuvent déboucher sur des applications pratiques. Pour une action efficace pour diminuer l'impact environnemental des IVT, une des cibles doit être les émissions liées à l'approvisionnement des consommables médicaux. Nous avons remarqué au cours de cette étude la part importante du pack IVT sur mesure et du pack détersion dans toutes les catégories d'impact. Un meilleur dialogue entre les ophtalmologistes, les acheteurs de la structure de soin et l'industrie pharmaceutique semble indispensable à ce sujet.

Les secteurs responsables des émissions les plus importantes ne doivent cependant pas être les seuls focus de la stratégie de réduction de l'impact environnemental.

L'impact de la fabrication des molécules est important bien que sujet à de nombreux biais et probables erreurs de calculs. Cependant elle semble une piste difficile d'amélioration à courte échéance mais envisageable à moyen ou long terme par l'industrie pour réduire les émissions liées à la fabrication des produits.

De même l'impact du transport du patient est important. Il semble également une piste difficile d'amélioration à courte échéance mais envisageable à moyen ou long terme par les compagnies de transports et d'ambulances pour en réduire les émissions.

Bien qu'une analyse coût-efficacité dépasse le cadre de cette étude, nous avons discuté des réductions de cout qui découleraient de changements de pratiques.

Nous avons également remarqué au cours de cette étude, l'importante fluctuation des prix d'achats pendant la crise sanitaire liée au Covid 19. Les prix de certains consommables ont nettement augmenté. Nous pouvons peut-être interpréter cela comme une tension d'approvisionnement mondiale sur des consommables à usage unique fabriqués quasi exclusivement en Asie, avec une demande qui est devenue bien supérieure à l'offre. Nous pouvons y voir notre dépendance aux pays asiatiques dans ces situations extrêmes qui pourrait mener à une réflexion de relocalisation de l'industrie médicale pour limiter ces problématiques.

4.4.1 Sensibiliser les équipes et mener un travail avec les acteurs des déchets

Il est important que les médecins et les équipes paramédicales soient sensibilisés sur l'impact environnemental de leurs pratiques pour qu'ils participent activement à la réflexion et à l'élaboration de stratégies de réduction d'impact.

Les cliniciens jouent un rôle critique dans l'utilisation des ressources au sein du système de santé et ont la possibilité d'influer sur la création des déchets. De petits changements dans l'utilisation des consommables et des services médicaux peuvent avoir un bénéfice substantiel sur la conservation des ressources, les émissions polluantes et la santé publique quand ils sont réalisés à grande échelle.

Réduction des DASRI :

Il pourrait être intéressant de développer sur le plan national un guide de bonne pratique du tri des déchets pour chaque acte médical très protocolisé comme peuvent l'être une IVT. Ce guide serait établi sur le terrain, réactualisé régulièrement, et pourrait

servir d'aide pratique pour les membres du personnel pour la bonne orientation des déchets. Un tel guide, validé par un comité d'expert, avec une envergure nationale pourrait avoir un impact important.

Un travail de réduction des DASRI en unité François du CHU de Lille était indispensable. Cette catégorie de déchets représentait 53,51% du poids des déchets d'une IVT dans cette unité. L'unité François générait 1607% de DASRI en plus que le bloc opératoire par injection. 94,14% du poids des DASRI en unité François correspondait à des objets qui ne répondaient pas à la définition de DASRI.

De plus, en unité François, les poubelles DASRI se composaient d'un support en carton pesant 550g. Ce support carton était responsable de 18% du poids des DASRI par IVT.

Ainsi les seuls objets correspondant à la définition de DASRI devraient être orientés vers cette filière. A savoir pour une IVT : la seringue et l'aiguille ayant servi à l'injection. Les poubelles DASRI et leur contenant en cartons ont été supprimés pour laisser place uniquement aux contenant en DASRI pour aiguilles en polypropylène. Ce travail a été mené conjointement et validé avec la cadre de santé du service, l'équipe opérationnelle d'hygiène et l'ingénieur en charge de la gestion des déchets du CHU de Lille.

Développement du recyclage au sein du CHU de Lille et de l'Institut Ophtalmique de Somain :

Le bloc du CHU de Lille recycle le papier et le carton. Il s'agit du site d'injection qui recycle le plus les déchets (9,53% du poids des déchets d'une IVT), alors qu'il n'y a que 0,75% du poids des déchets qui est recyclé à Somain (métal) et aucun recyclage n'est en place en unité François du CHU de Lille.

Au CHU de Lille, il conviendrait donc d'instaurer dans chaque salle d'injection de l'unité François une poubelle recyclable pour y recevoir les déchets en papier et cartons facilement recyclables. A Somain un travail en concertation avec le prestataire des déchets pourrait voir le jour pour instaurer une filière recyclage du papier et du carton au sein de la salle d'injection, ou si cette filière existe déjà au sein de l'établissement une poubelle de recyclables pourrait être introduite en salle d'injection.

Au sein de cette poubelle de recyclables, nous pouvons y jeter : les emballages en carton des différents médicaments (Anti-VEGF, implant de cortisone, collyre anesthésiant, sérum physiologique ou BSS, bétadine), les emballages en cartons des consommables (gants), les notices des produits. Les emballages en papier des gants stériles ainsi que les étiquettes étant composés d'un mélange de plastique ne doivent pas être orientés en filière recyclage.

En extrapolant au nombre d'IVT réalisées, en prenant en compte le fait qu'en unité François du CHU de Lille et à l'Institut Ophtalmique de Somain un tel recyclage n'est pas en place, ce sont respectivement 70,20kg et 248,29kg qui ne sont pas recyclés par an. En extrapolant au nombre d'IVT réalisé par an en France cela correspond à 43578 kg soit 43,58 tonnes qui ne sont pas recyclées mais qui pourraient l'être.

Le CHU de Lille pourrait également se rapprocher de la filière locale de l'association « les p'tits doudous », [100] existante au sein du CHU, afin de mieux valoriser les déchets en métal, facilement recyclables. Il faudrait cibler dans les services les objets en métal qui pourraient être récoltés et recyclés. En ce qui concerne les IVT, le blépharostat en métal pourrait en faire partie. L'argent issu de la valorisation du métal permettrait d'aider les enfants hospitalisés.

Réduire les impressions des étiquettes au CHU de Lille et à l'Institut Ophtalmique de Somain :

Une feuille entière d'étiquettes A4 est imprimée pour chaque patient au CHU de Lille et à Somain (soit l'équivalent de 32 étiquettes). En pratique, en moyenne, 1 étiquette ou 2 au maximum sont utilisées pour la traçabilité, le reste des étiquettes étant jetées. Ces étiquettes représentent plus de 2% du poids des déchets d'une IVT.

En extrapolant au nombre d'injections réalisées au CHU de Lille et à Somain, cela engendre la création respectivement de 47,15 kg et 61,68 kg de déchets par an. Si une étiquette par patient était imprimée pour chaque IVT en France cela entraînerait la création de 10822 kg soit 10,82 tonnes de déchets. Si pour chaque IVT réalisée en France, une feuille A4 d'étiquettes était imprimée, sur 1 an cela serait responsable d'un impact carbone de 73,5 tonnes eqCO₂. Cela correspond aux émissions de 16 véhicules personnels pendant 1 an, cela correspond également à 1 camion-citerne

rempli d'essence, ou à la séquestration carbone de 1215 arbres qui poussent pendant 10 ans.[34]

Nous pourrions donc imaginer un investissement au sein de ces structures dans une machine qui permet d'imprimer les étiquettes une à une pour réduire les déchets liés aux étiquettes mais également les coûts d'impression (papier autocollant plastifié, encre). Cet investissement au vu du nombre d'IVT serait rapidement rentabilisé.

Nous pourrions également imaginer un moyen de traçabilité innovant, permettant de supplanter l'impression et l'utilisation d'étiquettes.

Réduire les déchets :

Nous avons modélisé au sein de cette étude les différentes façons de prendre en charge les DASAOM (incinération ou enfouissement) et les DASRI (incinération ou banalisation). Nous remarquons qu'il n'y a pas de façon de traiter les déchets qui soit meilleure que les autres sur toutes les catégories d'impacts, un choix doit donc s'opérer. Nous remarquons par exemple que l'enfouissement des déchets plastiques génère moins de GES que leur incinération mais qu'elle génère plus de pollution de l'eau et d'occupation des terres (figure 37).

La meilleure façon de traiter les déchets ne serait-elle pas de ne pas les créer ? Nous pourrions également envisager de favoriser le recyclage des déchets plastiques.

La banalisation semble cependant une bonne option de traitement des DASRI.

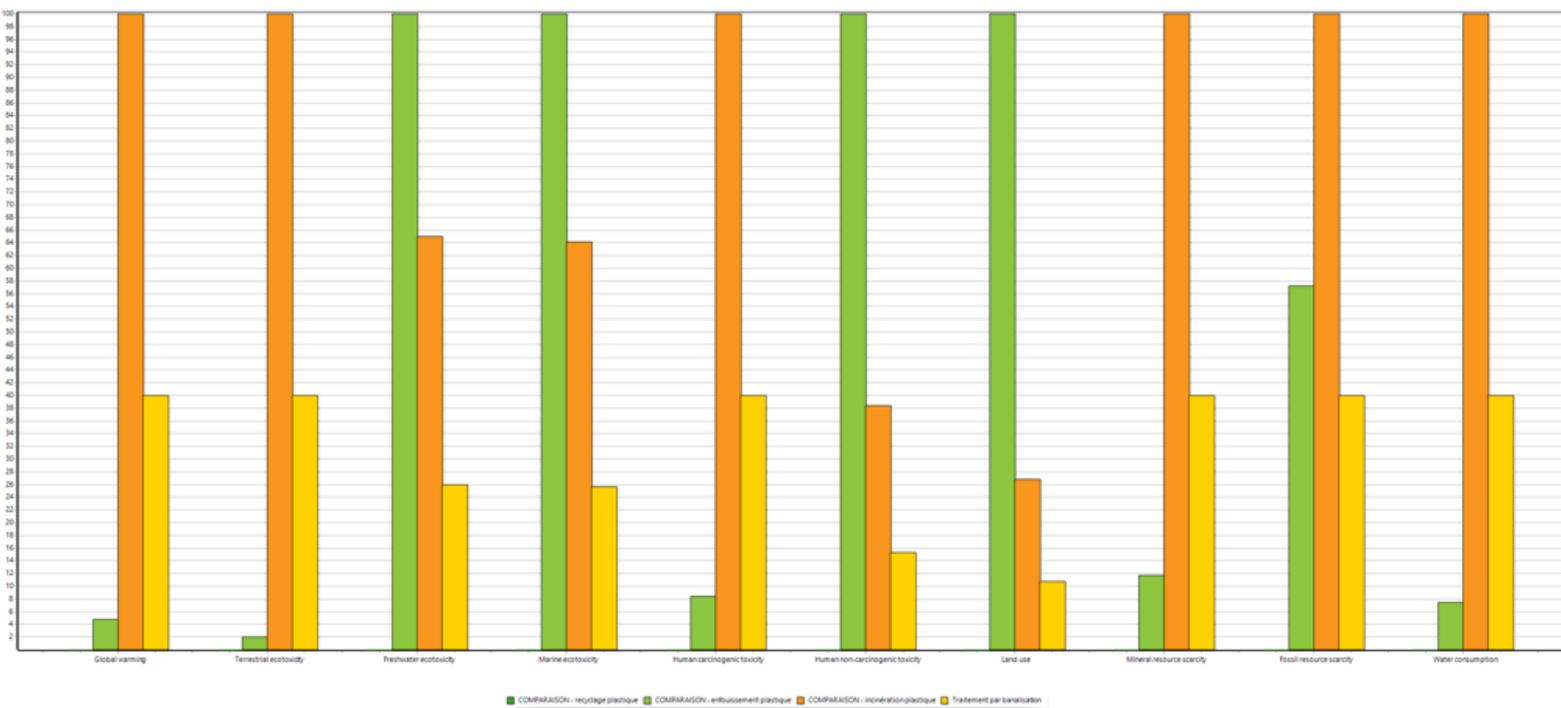


Figure 37 Comparaison de l'impact environnemental de la gestion des déchets en plastique dans chacune des catégories d'impact (en vert l'enfouissement, en orange l'incinération, en jaune la banalisation)

4.4.2 Faire le tri dans les pratiques :

Il est pertinent d'évaluer les objets du pack sur mesure qui ne sont pas utilisés et donc inutiles et qui finissent dans la filière des déchets. Ce tri de bon sens permet à grande échelle de réaliser des économies d'émission, de consommation de ressources et de coûts non négligeables.

Mais attention à veiller à ne pas retirer l'instrumentation nécessaire des ensembles, ce qui pourrait conduire à l'ouverture peropératoire de trousse séparées supplémentaires à la recherche de l'instrumentation nécessaire. Des kits d'instrumentation mal reformulés peuvent potentiellement augmenter la durée de la procédure, entraîner des retards de traitement et augmenter la quantité d'équipement utilisé. Une participation adéquate des ophtalmologistes au processus de prise de décision est nécessaire.

Retirer les objets non utilisés du pack IVT sur mesure au CHU de Lille et à l'Institut Ophtalmique de Somain :

Lors de cette étude nous avons remarqué qu'au CHU de Lille, au sein du pack IVT sur mesure, une cupule, la pince en polyamide, et 3 boules de gaze n'étaient pas utilisées et finissaient directement à la poubelle. A l'Institut Ophtalmique de Somain (malheureusement nous n'avons eu l'occasion d'observer que les pratiques d'un seul injecteur) au sein du pack sur mesure la pince en polyamide, 2 boules de gaze et le compas n'étaient pas utilisés.

Ceci correspond respectivement à 16% et 19,5% du poids total du pack.

Ils sont responsables de l'émission de 195 gCO₂eq de GES, ce qui représente 27,93 % de l'impact carbone du pack IVT sur mesure, avec la pince en polyamide représentant à elle seule 22,6 % de l'impact du pack. Ceci représente également 9,28% de l'impact carbone d'une IVT.

En extrapolant ce chiffre au nombre d'IVT réalisées dans ces deux structures, nous obtenons pour le CHU de Lille et pour Somain respectivement 102 kg et 120kg d'objets non utilisés qui terminent directement leur vie à la poubelle. Si une perte similaire avait lieu pour chaque IVT réalisée en France chaque année cela reviendrait à 23342 kg soit 23,34 tonnes.

Si pour chaque IVT réalisée en France, il y avait les mêmes objets non utilisés du pack IVT sur mesure qu'au sein de cette étude, cela serait responsable de l'émission de 247,1 tonnes CO₂eq de GES. Cela correspond aux émissions de 53,7 véhicules personnels pendant 1 an, cela correspond également à 3,3 camions citernes rempli d'essence, ou à la séquestration carbone de 4084 arbres qui poussent pendant 10 ans.[34]

Une réflexion pourrait donc voir le jour sur quels objets du pack pourraient légitimement être retirés, en concertation avec l'ensemble des injecteurs des structures, avec un intérêt particulier pour la pince en polyamide.

Discuter de la pertinence d'un pack déterision supplémentaire au CHU de Lille :

Au CHU de Lille, un pack déterision se composant d'un emballage, un plateau en polypropylène, une cupule, une pince et 3 boules de gaze est utilisé pour réaliser la

1^{ère} et 2^{ème} déterision cutanée. Celle-ci est réalisée par les infirmières du bloc opératoire.

Ce pack pèse 50,90g, et représente 14,07% du poids des déchets au Bloc opératoire et 8,95% du poids des déchets en unité François.

Le pack déterision est responsable d'un impact carbone de 363 gCO₂eq. Cela représente 17,28 % de l'impact carbone et 40% de la réduction de la couche d'ozone d'une IVT. Les objets de ce pack déterision font doublons avec la pince, la cupule, les boules de gazes du pack sur mesure. Si pour chaque IVT réalisée en France, un pack déterision similaire au pack déterision du CHU de Lille était utilisé, cela serait responsable d'un impact carbone de 458,8 tonnes CO₂eq. Cela correspond aux émissions de 100 véhicules personnels pendant 1 an, cela correspond également à 6,1 camions citernes rempli d'essence, ou à la séquestration carbone de 7590 arbres qui poussent pendant 10 ans.[34]

La suppression du pack déterision au CHU de Lille permettrait également des économies annuelles de 6925 euros.

Nous pourrions imaginer que la 1^{ère} et 2^{ème} déterision soient réalisées par l'injecteur lui-même pour supprimer ce pack déterision, en prenant directement à la main les gazes pour les imbiber de bétadine et faire la déterision. Ou bien, dans le cas où la déterision serait réalisée par l'aide, nous pourrions discuter avec le fournisseur d'un pack déterision plus compact et générateur de moins de déchets, comme par exemple l'utilisation d'un système stylo avec un embout mousse comme cela existe dans d'autres structures, ce qui aurait pour conséquence de supprimer la pince en polyamide du pack.

Réfléchir à des alternatives à la solution de rinçage du CHU de Lille :

Au CHU de Lille, le rinçage en fin de procédure d'injection est effectué par l'injecteur. Il s'agit d'un flacon de BSS de 15mL avec emballage stérile fabriqué au Texas qui est très onéreux.

En observant les pratiques à l'Institut Ophtalmique de Somain, nous avons remarqué que le rinçage s'effectue par l'aide avec un sérum physiologique bien moins onéreux et fabriqué en France, avec moins d'emballage et de transport.

La solution de rinçage du CHU de Lille est responsable de l'émission de 19,98 fois plus de GES que la solution de rinçage de Somain. La différence d'émissions de GES entre la solution de rinçage du CHU de Lille et celle de l'Institut Ophtalmique de Somain, multipliée par le nombre d'IVT réalisées par an en France correspondrait à l'émission de 84 tonnes de CO₂. Cela correspond aux émissions de 18,3 véhicules personnels pendant 1 an, cela correspond également à 1,1 camion-citerne rempli d'essence, ou à la séquestration carbone de 1389 arbres qui poussent pendant 10 ans.[34]

Nous avons également modélisé au sein de cette étude l'impact environnemental d'un flacon de BSS du CHU de Lille converti en unité de 10 ml avec une pipette de sérum physiologique stérile de 10 ml (figure 39). Nous remarquons que le BSS a un impact plus important dans presque toutes les catégories.

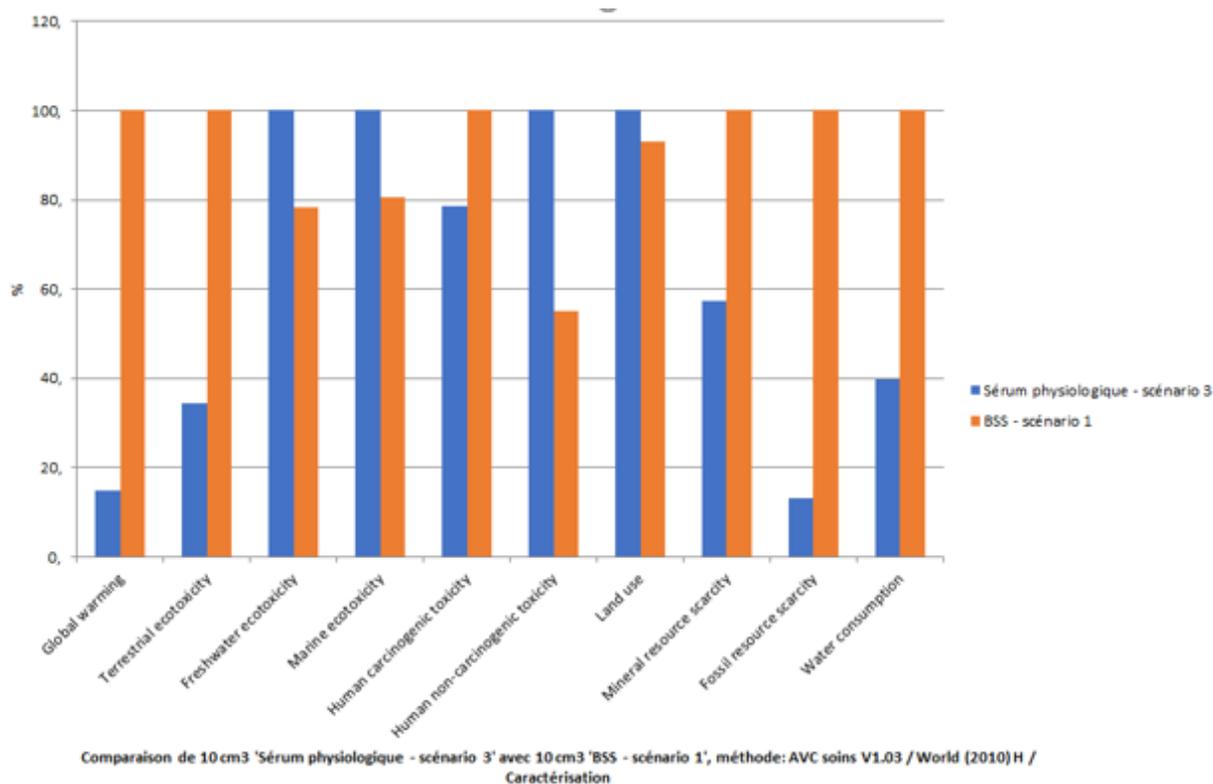


Figure 39 Comparaison de l'impact environnemental d'un flacon de BSS de 10ml avec une pipette stérile se sérum physiologique de 10 ml sur chacune des catégories d'impacts

Ne pourrions-nous pas imaginer une solution de rinçage similaire ? Les recommandations de bonnes pratiques des IVT éditées en 2020 stipulent qu'il faut rincer abondamment avec une solution de NaCl à 0,9 % stérile.[52]

Le changement de la solution de rinçage du CHU de Lille pour la même solution de rinçage que l'Institut Ophtalmique de Somain entrainerait des économies annuelles de 8123 euros.

Discuter de la pertinence de réaliser une prophylaxie antibiotique à la fin de l'acte à l'Institut Ophtalmique de Somain :

Si pour chaque IVT réalisée en France, une pipette d'antibiotique à usage unique est utilisée, sur 1 an cela serait responsable d'un impact carbone de 59,9 tonnes eqCO₂. Cela correspond aux émissions de 13 véhicules personnels pendant 1 an, cela correspond également à 0,8 camion-citerne rempli d'essence, ou à la séquestration carbone de 992 arbres qui poussent pendant 10 ans.[34]

Comme nous l'avons vu dans les recommandations de bonnes pratiques pour la réalisation d'une IVT éditées en 2020, il est stipulé qu'il n'est pas recommandé d'instiller des antibiotiques par voie locale en fin d'intervention.[52]

Discuter de la pertinence d'utiliser une surblouse patient jetable ou réutilisable :

Il pourrait également être intéressant d'évaluer l'impact d'une surblouse sur la stérilité d'un acte se faisant au niveau du visage, loin des vêtements, avec la protection d'un champ opératoire et une déterction cutanée bétadinée. Les recommandations de bonne pratique établies par Cohen et al en 2020 précisent que « dans la salle d'IVT, le patient revêt une charlotte et éventuellement une surblouse à usage unique non stérile ».[52]

La blouse patient à usage unique est responsable de l'émission de 223 geqCO₂ de GES. En supposant que pour chaque IVT réalisée en France, on utilisait une telle blouse et qu'on venait à supprimer son utilisation, on réduirait les émissions de GES de 282,6 tonnes eqCO₂. Cela correspond aux émissions de 61,5 véhicules personnels pendant 1 an, cela correspond également à 3,7 camion-citerne remplis d'essence, ou à la séquestration carbone de 4679 arbres qui poussent pendant 10 ans.[34]

4.4.3 Un travail à mener avec l'Industrie

Il serait intéressant de plus dialoguer avec l'Industrie médicale sur nos attentes concernant la fabrication des produits et les sensibiliser sur la limitation des emballages. Cette réflexion peut être initiée par les ophtalmologistes ou les responsables achats afin de diminuer l'impact environnemental des produits.

Il serait pertinent de mener une réflexion à l'échelle de l'établissement, des groupements hospitaliers de territoire (GHT) et du regroupement d'établissements pour exiger, en amont des renouvellements de marchés dans les cahiers des charges, un indice d'impact environnemental des produits, une limitation des suremballages non recyclables, plus de transparence sur l'origine des produits.

Développer l'éco-conception au sein de l'industrie :

Le pack IVT sur mesure par exemple correspond à 23,5 % de l'impact global ; 33% sur le réchauffement climatique et 33% sur la toxicité environnementale d'une IVT.

Pour les industriels, les résultats de cette étude d'ACV soulignent l'utilité de la méthodologie dans l'identification des actions nécessaires pour réduire l'impact environnemental de leurs produits. Une démarche d'éco-conception doit donc s'entreprendre pour réduire les impacts « du berceau à la tombe (réduction de la consommation de ressources lors de l'extraction des matières premières, réduction des consommations d'énergie pour la fabrication des dispositifs médicaux, réduction et optimisation du transport et de la logistique, réflexion autour de la fin de vie des produits). Lors des étapes de conception du produit et de recherche et développement, les fabricants devraient considérer l'impact environnemental sur toutes les étapes du cycle de vie des dispositifs médicaux, et ne pas se concentrer uniquement sur le point d'utilisation à l'interface soignant-patient.

Les industriels devraient également veiller à rendre autant que possible leurs produits et leur emballage recyclables. Ils pourraient par exemple dans la mesure du possible, remplacer un produit ou un emballage composé d'un mélange de résines difficiles à recycler en un produit composé d'une seule résine plus facilement recyclable.

Nous avons également remarqué au cours de cette étude l'impact environnemental supérieur de la stérilisation à l'oxyde d'éthylène par rapport à d'autres méthodes de stérilisation telles que l'autoclave ou le rayonnement gamma dans toutes les catégories d'impact (figure 40). A titre d'exemple pour la catégorie GES, la stérilisation à l'oxyde d'éthylène est responsable de 8 fois plus d'émissions que la stérilisation à l'autoclave. Les ordres de grandeur sont encore plus importants pour les catégories toxicités humaines (16,89 fois plus toxique) et environnementales (31,15 fois plus toxique). Ainsi les industriels devraient réfléchir à des alternatives de stérilisation moins polluantes que l'oxyde d'éthylène.

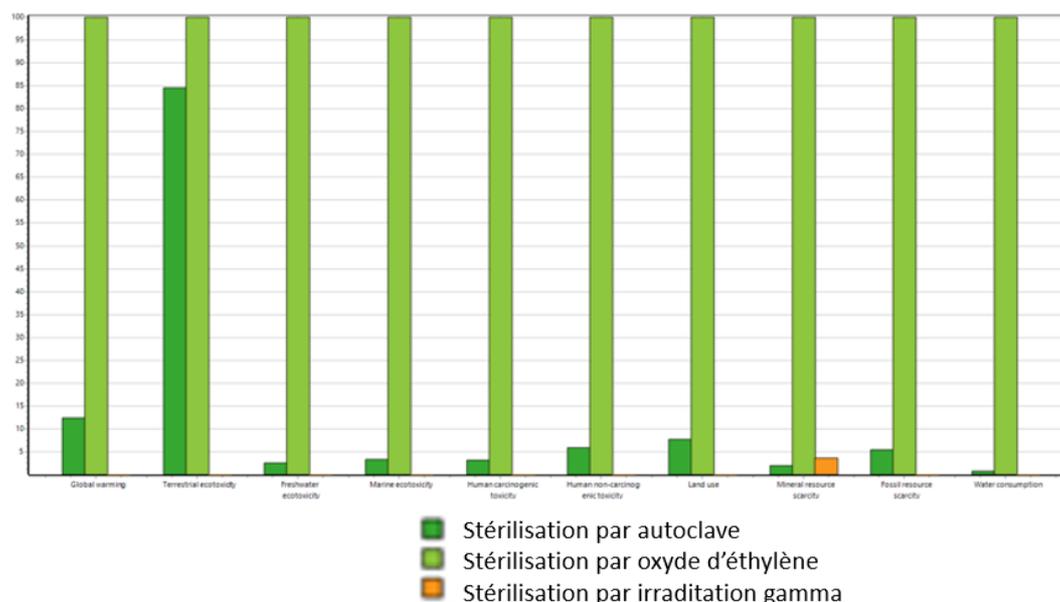


Figure 40 Impact environnemental de la stérilisation par autoclave, oxyde d'éthylène et par irradiation gamma

Développer les ACV au sein de l'industrie :

Actuellement, légalement, un acheteur public qui réalise son bilan carbone ne peut exiger dans ses procédures de consultations que le soumissionnaire ait réalisé le bilan carbone ou environnemental pour les fournitures inscrites dans le marché. L'acheteur pourra le demander éventuellement à titre informatif. Actuellement, le soumissionnaire n'a aucune obligation de réponse quant aux émissions de gaz à effet de serre.[46] Une obligation d'information sur l'impact environnemental des dispositifs médicaux pourrait voir le jour.

En l'absence d'information sur l'impact environnemental de leurs produits, une plus grande transparence des industriels concernant les composants, les lieux de fabrication et les transports permettrait également de réaliser des études d'impact environnemental extérieures à l'entreprise plus précises.

Développer la conception et l'utilisation d'instruments réutilisables :

Les industriels devraient également ouvrir la réflexion sur la conception et la mise sur le marché de kits réutilisables qui n'existent quasiment plus et qui pourraient permettre une réduction de la dépendance commerciale aux DM à usage unique asiatique et favoriser des emplois locaux. Certains instruments et équipements ont nécessairement besoin d'être jetables à cause de la nature de leur utilisation et leur caractère inadapté pour la décontamination mais pas toujours. Nous devrions réfléchir aux alternatives réutilisables qui pourraient être mises en place. Mangerions-nous tous les jours dans des assiettes en carton même si cela était moins cher ? Mettrions-nous tous les jours des habits en plastique jetables même si cela était moins cher ? Les médecins et les acheteurs peuvent faire pression sur les industriels pour le développement de tels produits.

Favoriser une production plus locale :

Les industriels pourraient également réfléchir à la fabrication plus locale de packs IVT à usage unique.

Nous avons remarqué au cours de cette étude que le fait de prendre en compte l'ensemble des transports des composants du pack sur mesure de l'Institut Ophtalmique de Somain, depuis son lieu exact de production (dans le cadre de cette étude en Chine et au Pakistan principalement) augmentait de 11,42% les émissions de GES du pack comparativement à quand nous avons renseigné le siège Français de l'entreprise (comme il est habituel de faire dans ce type d'étude lorsque le lieu exact de production n'est pas connu). L'impact du transport au niveau des émissions de GES passe donc de 1,2 geqCO₂ à 38 geqCO₂ soit presque 32 fois plus. Pour un transport cumulé de 225150 kms, soit 5,6 fois le tour de la Terre pour les objets du pack IVT de l'Institut Ophtalmique de Somain, la part du transport des consommables dans les émissions de GES liées à l'utilisation du pack IVT n'est donc pas négligeable (10,52%).

De plus produire en Europe permet de réduire les émissions de GES lié à l'utilisation d'une énergie plus « propre ». L'électricité produite en France (0,0599 kg de CO₂ / kWh)[51] (à partir d'énergie nucléaire et renouvelable majoritaire) est responsable d'émissions de GES moindre que l'électricité produite en Chine (0,766 kg de CO₂ / kWh soit 12,77 fois plus)[51], en Inde (0,912 kg de CO₂ / kWh soit 15,2 fois plus)[51] ou au Pakistan (0,425 kg de CO₂ / kWh soit 7,1 fois plus)[51] (à partir de charbon majoritairement).

4.4.4 Un travail à mener avec les professionnels du transport

Chercher des solutions pour réduire l'impact du transport patient :

Comme nous l'avons vu au cours de cette étude, l'impact environnemental du transport patient, surtout dans la catégorie émissions de GES n'est pas du tout négligeable. En moyenne sur les 3 sites d'étude, lorsque l'on considère l'impact carbone des catégories énergie, consommables et transport patient cela représente 14,9 kgeqCO₂, soit 88,9 % des émissions de GES d'une IVT. Ainsi une réflexion pourrait s'ouvrir avec les professionnels du transport pour par exemple organiser ou promouvoir du covoiturage entre patients, promouvoir les transports en commun (tickets gratuits, affichage et explication des lignes de transports en commun sur la convocation lors des prises de rendez-vous), utilisation de carburants moins carbonés.

4.4.5 Intégrer des critères de développement durable lors des procédures d'achats

En 2009, au cours du Grenelle de l'environnement, les fédérations hospitalières se sont engagées auprès du ministère de l'Écologie à intégrer quand cela est possible des critères de développement durable dans les procédures d'achats.[45] Cependant force est de constater que si les hôpitaux s'inscrivent de plus en plus dans des démarches de développement durable, les achats médicaux et pharmaceutiques

restent un domaine où ce dernier est peu pris en compte, et ce malgré l'exigence du code des marchés publics de l'intégrer aux appels d'offres. En 2013, seuls 17 % des établissements hospitaliers ont pris en compte le DD dans leurs achats de produits de santé.[46]

Il existe de nombreux écolabels dans différents domaines permettant de guider l'acheteur sur des achats plus durables. En revanche, aucun document de ce type n'existe pour les achats des produits de santé et des équipements médicaux.

Il existe un « Guide des achats durables appliqués aux produits de santé » développé par le Ministère de l'Economie, des Finances et de la relance ».[46] Cependant ce guide stipule que la thématique carbone n'a pas de lien avec l'objet du marché et que l'analyse du cycle de vie (ACV) est trop complexe à évaluer. Ces thèmes sont donc classés inappropriés et ne font donc pas partis des critères pris en compte.

Développer un outil de comparaison de l'impact environnemental des produits lors des procédures d'appels d'offres :

Nous pourrions donc envisager de développer un nouvel outil permettant de comparer l'impact environnemental des différents produits lors des appels d'offres avec des informations pertinentes et robustes. Il pourrait s'agir d'un logiciel développé pour les gestionnaires de soins de santé comportant des ensembles d'informations faciles à utiliser (dérivés d'études ACV), et qui conseille sur la meilleure option environnementale possible pour l'achat de certains dispositifs médicaux.

Ainsi le critère « développement durable » pourrait être incorporé dans les critères pris en compte pour guider les choix d'approvisionnement. La pondération de ce critère serait à déterminer par l'acheteur en fonction de la stratégie de son établissement et des produits qui font l'objet de la consultation.

4.4.6 Développer la réflexion environnementale dans les structures de soins

Créer et développer des comités environnementaux au sein des établissements de santé :

Des comités environnementaux internes ou externes pourraient voir le jour dans les hôpitaux ou même les blocs opératoires en cheville avec les services d'hygiène pour apporter des solutions pour diminuer l'impact environnemental tout en maintenant une qualité des soins et vérifier que le changement de pratiques ne bafoue pas les règles d'hygiènes.

Cette démarche pourrait s'appuyer sur l'expérience d'organisations telles que le C2DS qui lancent des réflexions et des initiatives pour identifier des stratégies pour réduire l'empreinte environnemental au bloc opératoire et ailleurs.[117]

La démarche développement durable doit prendre de plus en plus d'importance au niveau institutionnel en faisant partie intégrante du projet d'établissement.

Créer une plateforme nationale collaborative :

Nous pourrions imaginer la création d'une plate-forme nationale de collaboration et de partage des meilleures pratiques environnementales. Cette plateforme pourrait permettre aux structures de se situer par rapport à des établissements comparables en ce qui concerne une multitude de paramètres environnementaux, leur offrant ainsi des perspectives et des voies d'amélioration tout en leur laissant la responsabilité de l'action. La variabilité d'approches dans la performance environnementale pourrait conduire à une pollinisation croisée d'idées avantageuses entre les structures.

Réduire l'emballage du Bevacizumab (Avastin) au CHU de Lille :

Nous avons remarqué au cours de cette étude que l'emballage du Bevacizumab (Avastin) conditionné par la pharmacie centrale de l'hôpital était responsable d'un impact carbone de 520 gCO₂eq, soit 5,15 fois plus important que celui du Ranibizumab (Lucentis) et de l'Aflibercept (Eylea). Le poids de son emballage est 1,70 fois plus

important que celui du Ranibizumab et de l'Aflibercept. Son emballage a un impact environnemental plus important que les autres molécules dans quasiment toutes les catégories d'impacts, hormis pour l'utilisation des terres. Ainsi nous pourrions engager avec la pharmacie centrale de l'hôpital des stratégies de réduction d'emballage pour le Bevacizumab. Nous pourrions nous inspirer des pratiques de l'hôpital indien du réseau Aravind qui réalise des milliers d'IVT annuelles avec du Bevacizumab (Avastin) dont l'emballage est moindre que le nôtre.

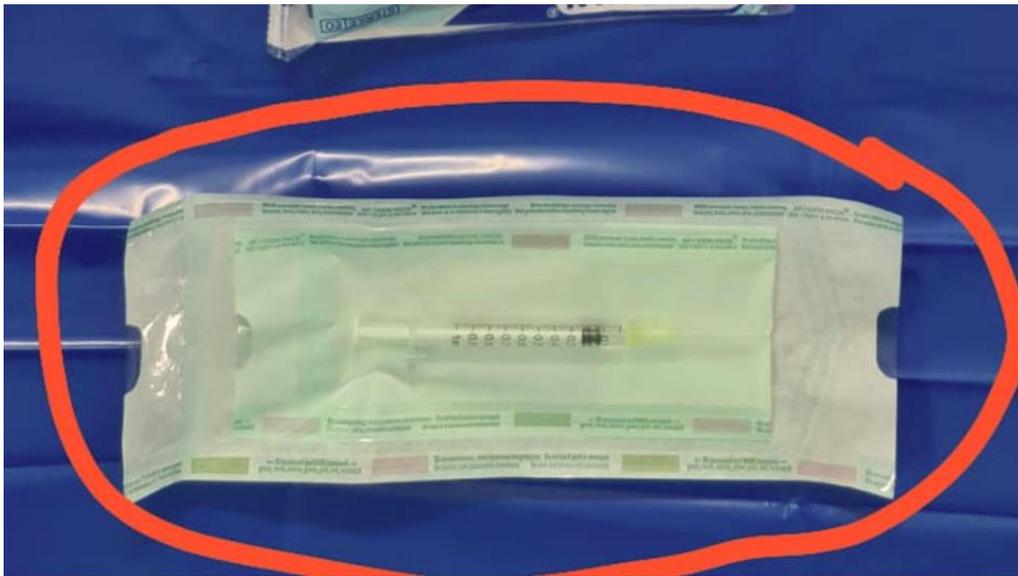


Figure 41 Emballage d'une seringue préremplie de Bevacizumab (Avastin) au sein de l'hôpital de Pondichéry avec l'aimable courtoisie du Dr Sivateja.

Favoriser le passage à des textiles médicaux réutilisables au CHU de Lille et à l'Institut Ophtalmique de Somain (blouse notamment) :

Comme nous l'avons vu pour les textiles médicaux, l'utilisation du coton a un impact environnemental majeur dans de nombreuses catégories d'impact. La comparaison des textiles médicaux réutilisables et jetables illustre la difficulté à trouver des solutions satisfaisantes pour satisfaire chacun des critères de sélection (propriétés techniques, impact environnemental dans chaque catégorie, coût, etc.).

Pour savoir à partir de quand il est plus intéressant d'utiliser du lavage plutôt que du jetable, nous avons modélisé et comparé la blouse patient réutilisable à la blouse patient à usage unique. La première étape consiste à comparer les impacts du

processus de lavage seul (sans blouse réutilisable) avec une blouse à usage unique (figure 42).

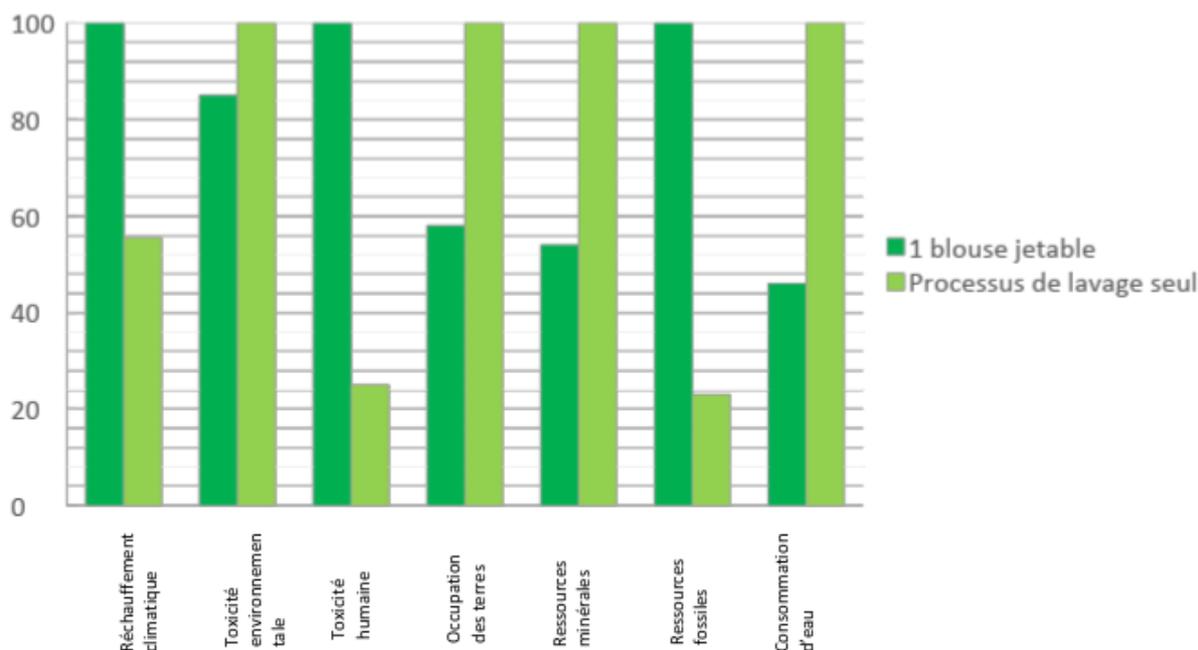


Figure 42 Comparaison des impacts environnementaux de la blouse jetable et du processus de lavage de la blouse réutilisable

Au sein des catégories d'impacts environnementaux, ni le textile réutilisable, ni le textile jetable n'est meilleur que l'autre dans chacune des catégories, et un choix doit donc s'opérer. Selon l'impact regardé, la blouse jetable sera parfois plus impactante, c'est le cas pour le réchauffement climatique, la toxicité humaine et l'épuisement des ressources fossiles. D'autre fois, c'est le processus de lavage qui aura le plus gros impact, c'est le cas pour la toxicité environnementale, l'occupation des terres, l'épuisement des ressources minérales et la consommation d'eau (figure 48).

Néanmoins, pour avoir une idée du nombre de lavages nécessaires pour qu'une blouse à usage multiple ne soit pas plus impactante qu'une blouse à usage unique, la modélisation de leurs impacts en fonction du nombre d'utilisation a été faite dans le graphique ci-dessous (figure 43). Sur l'axe horizontal est représenté le nombre d'utilisation. 100 utilisations signifient que l'on a comparé les impacts environnementaux de 100 blouses à usage unique avec 1 blouse à usage multiple + 100 lavages. L'axe vertical représente l'écart d'impact entre la blouse à usage multiple

et la blouse à usage unique. Si un point se trouve dans la zone verte, cela signifie que la blouse à usage multiple est plus favorable. Au contraire, si un point se trouve dans la zone rouge, la blouse à usage unique est plus favorable.

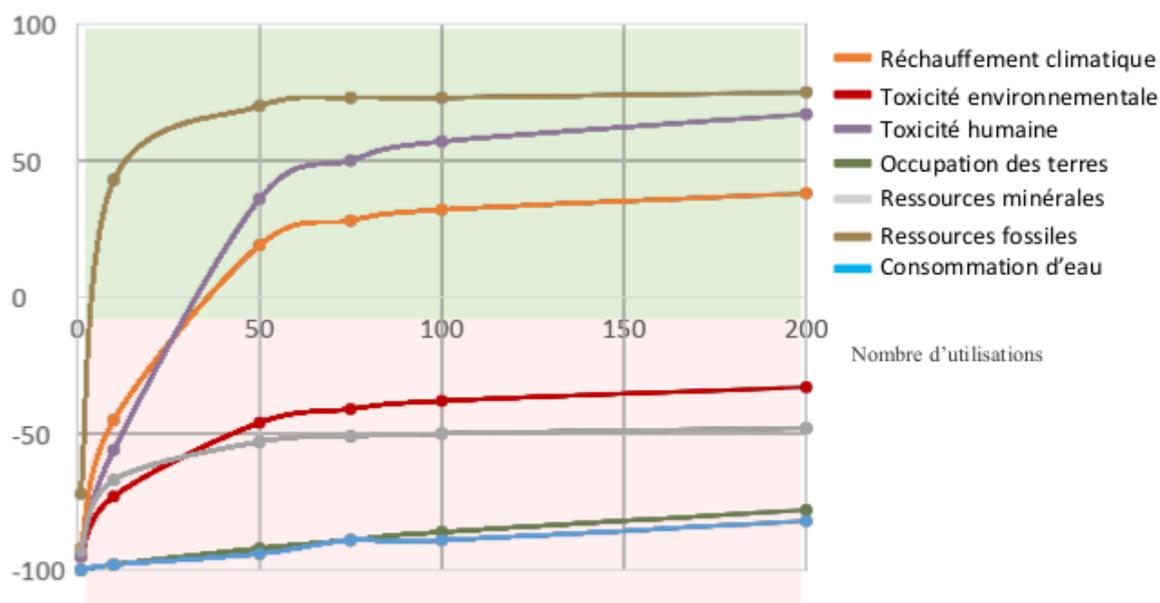


Figure 43 Comparaison des impacts environnementaux de la blouse jetable et la blouse réutilisable en fonction du nombre d'utilisations

Ce graphique nous permet de dire que la blouse à usage multiple est intéressante qu'à partir de 40 utilisations. Dans le tableau ci-dessous, nous y ajoutons la fabrication de la blouse en elle-même, notamment la production de coton. Sur certains impacts, la blouse à usage multiple reste défavorable, même après 40 utilisations. C'est pourquoi, les valeurs brutes sont reprises dans le tableau ci-dessous.

Tableau 13 Comparaison des impacts environnementaux de la blouse jetable et la blouse réutilisable

Critères	Réchauffement climatique	Toxicité environnementale	Toxicité humaine	Occupation des terres	Ressources minérales	Ressources fossiles	Consommation d'eau
Unités	kg CO2 eq	kg 1,4 DCB	Kg 1,4 DCB	m ² a crop eq	kg Cu eq	kg oil eq	m ³
40 blouses à usage unique	6,3	7,5	9,5	0,1	0,01	4,5	0,1
1 blouse réutilisable + 40 lavages	5,8	13,0	7,3	0,9	0,03	1,4	1,0

Il est très difficile de hiérarchiser les différents impacts environnementaux car la comparaison porte sur des sujets différents. Néanmoins, l'impact sur les ressources minérales est très faible et peut donc être négligé. De même, l'impact sur l'occupation des terres et la consommation d'eau restent raisonnables. Il est donc possible de hiérarchiser les impacts environnementaux de cette manière.

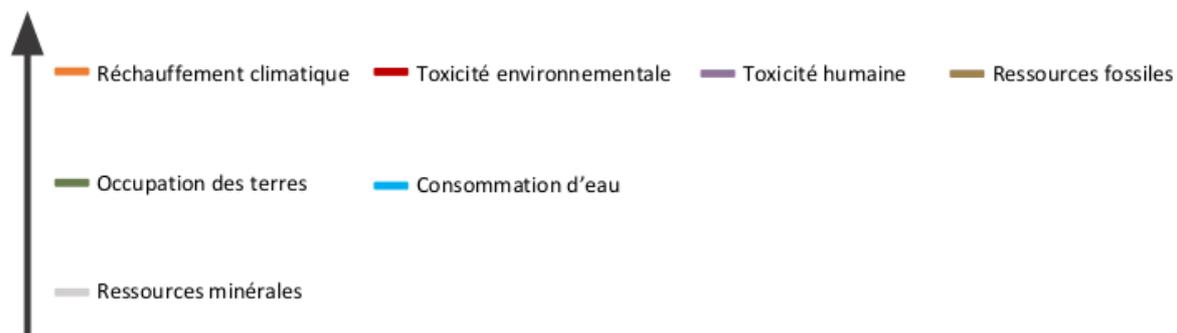


Figure 44 Hiérarchisation arbitraire des différents impacts environnementaux

Si l'on se base sur cette hiérarchisation des impacts, nous pouvons dire que la blouse réutilisable devient moins impactante que la blouse jetable à partir de 40 utilisations.

L'extrapolation au linge utilisé dans l'étude (drap, tunique soignant et microfibre) n'est pas si évidente. Néanmoins, ces textiles sont en moyenne réutilisés entre 40 et 70 fois. Il semble donc plus écologique d'avoir recours au lavage du linge plutôt que l'utilisation de produits à usage unique d'autant plus que des améliorations peuvent être apportées.

De plus, leur utilisation permet la réduction des déchets de par leur caractère réutilisable.

Peut-être pourrions-nous réfléchir à une utilisation plus importante que les 40 lavages recommandés actuellement avant de jeter les blouses réutilisables pour réduire son impact par utilisation ? Peut-être pourrions-nous réintroduire une filière de recyclage des textiles médicaux qui existait par le passé ? Peut-être pourrions-nous réfléchir à l'utilisation de textiles alternatifs comme le lin ou de nouveaux textiles innovants ?

4.4.7 Poursuivre la Recherche

Poursuivre la réalisation d'ACV :

Il est important de continuer à réaliser des analyses de cycle de vie d'actes médicaux, d'établissements de soins et même de systèmes de soins entiers pour cibler des opportunités de réduction d'impact environnemental. Il semble que ce sujet bénéficie de plus en plus d'intérêts et le nombre d'études ne semble pas faiblir.

Par ailleurs certains auteurs vont même jusqu'à se demander si nous n'en faisons pas trop pour la sécurité du patient et appellent à la réalisation d'études scientifiques à haut niveau de preuve concernant des procédures de sécurité. Selon eux ces procédures sont responsables de la génération de nombreux déchets notamment à cause de l'utilisation de l'usage unique. L'*OICS Task Force* qui a établi des nouvelles guidelines spécifiques à l'ophtalmologie concernant le nettoyage et la stérilisation des instruments chirurgicaux intra-oculaires statue dans son rapport qu'il est clairement possible que de nombreuses pratiques mandatées par les agences de réglementation n'aient pas d'avantages prouvés scientifiquement pour la chirurgie oculaire et ne justifient donc pas le coût et l'empreinte carbone nettement plus élevés qu'elles impliquent. D'autres études pourraient être menées pour évaluer certaines pratiques, telles que la réutilisation d'instruments jetables.[118]

Poursuivre l'étude de nouveaux procédés :

Un autre procédé pourrait être étudié en France, celui de la « remise à neuf » des instruments jetables qui consiste au nettoyage et à l'emballage d'instruments à usage unique en vue de leur réutilisation et peut permettre d'économiser de l'argent et des émissions. Les instruments à usage unique sont collectés par une entreprise tierce qui les nettoie, les répare, les stérilise et les revend aux structures de soins à un prix moins important que le prix originel du produit. Il s'agit d'une industrie de plusieurs milliards de dollars aux États-Unis, en croissance, et qui s'est développée dans de nombreux pays (28% des hôpitaux y ont recours au Canada, 40% en Allemagne, 80% en

Espagne et 80% au Japon).[118] En France la « remise à neuf » est actuellement interdite par la Loi.

Poursuivre la recherche fondamentale et innover :

Il faut également poursuivre la recherche fondamentale afin de trouver des innovations technologiques de ruptures, susceptibles de réduire notre impact environnemental. Un bel exemple d'espoir réside dans les travaux menés par la start-up française Carbios,[119] basée à Clermont Ferrand, qui travaille sur le recyclage enzymatique du polyéthylène téréphtalate (PET).

Le PET est l'une des variétés de plastique les plus employées. Il est notamment utilisé dans la composition des bouteilles d'eau et de fibres textiles. Actuellement, le PET recyclé est obtenu par broyage et transformation en paillettes. Cependant du fait de la répétition des processus de recyclages conventionnels, le plastique se dégrade au fil du temps, et le maintien de la qualité exige la fabrication de nouveau plastique vierge issu du pétrole.

Les ingénieurs de Carbios[119] ont inventé un procédé de recyclage enzymatique permettant de déconstruire le PET en deux monomères de bases, qui sont ensuite utilisés pour produire du PET sans perte de qualité. Il s'agit ici plutôt d'une réutilisation de la matière. Un article sur sa technologie de recyclage enzymatique du PET a été publié dans la revue Nature en Mars 2020.[120] Carbios[119] répond donc parfaitement avec cette innovation au principe d'économie circulaire. L'objectif actuel de l'entreprise est de montrer que leur technologie est capable de fonctionner à l'échelle industrielle. Un partenariat avec des gros acteurs de l'industrie alimentaire a par ailleurs été conclu.

4.4.8 Un exemple concret d'éco-conception des soins et d'économie circulaire : la création d'un pack sur mesure réutilisable pour réaliser les IVT

Nous avons voulu réfléchir à la conception d'un pack IVT sur mesure éco-conçu. Comme nous avons vu au cours de cette étude que les consommables réutilisables étaient bien plus écologiques que leurs semblables jetables, notre réflexion s'est portée autour d'un pack composé au maximum d'instruments réutilisables. Nous avons cherché à remplacer chacun des composants jetables du pack par un composant stérilisable qui pourrait ainsi servir de nombreuses fois.

Nous avons réalisé des devis auprès de fabricants d'objets médicaux en métal, et nous avons questionné la directrice de l'unité de stérilisation du CHU de Lille pour le côté pratique de la stérilisation d'un tel kit, ainsi que son coût.

Nous pourrions imaginer une telle logistique pour une structure comme le CHU de Lille, qui dispose d'une unité de stérilisation sur place, et qui réalise des IVT de façon régulière tous les après-midis de la semaine.

Nous pourrions réfléchir au nombre de pack IVT sur mesure réutilisables nécessaires pour couvrir les besoins. En cas de problème au niveau de l'unité de stérilisation et de non disponibilité des packs réutilisables, nous pourrions imaginer une petite réserve de secours de packs IVT sur mesure jetables.

4.4.8.1 Composition du pack IVT sur mesure réutilisable

Ce pack IVT éco-conçu se composerait d'une boîte en inox pour laveur automatique équipée d'un tapis en silicone de dimension 64x210x35mm. Au sein de la boîte nous trouverions 1 blépharostat en métal de Kratz, 1 fourche double 4mm/3,5mm en métal pour effectuer un repère scléral, et 1 cupule en métal de 40mm de diamètre et 30ml de capacité.

Nous pourrions utiliser l'emballage de la stérilisation pour faire office de champ de table, conformément aux exigences des normes DIN EN ISO 11607 et DIN EN 868-2.

Il est composé d'un polypropylène non-tissé (SMS) lui-même composé de plusieurs couches de fibres « *spunbound* » (S) et « *meltblown* » (M). Les fibres « *spunbound* » assurent une excellente flexibilité et une très bonne qualité de drapage tandis que les fibres « *meltblown* » forment une barrière efficace contre les micro-organismes. Cette composition est identique à celle du champ de table du pack jetable. Le devis pour une telle boîte sur mesure revient à 253,7€ HT la boîte.

4.4.8.2 Listing des autres étapes et instruments nécessaires au déroulement d'une IVT

Il faudrait cependant ajouter les composants manquants au pack. Devant la complexité de les y intégrer au sein de l'unité de stérilisation, ils pourraient être ajoutés en salle d'injection. 5 compresses stériles, un champ de tête et une cigarette pourraient ainsi être mis sur la table.

Nous avons également réfléchi à la façon de réaliser le badigeon en utilisant le moins de matière possible. Le caractère très polluant de la pince en polyamide contenu dans le pack IVT sur mesure ou le pack détercion nous a orienté vers un système de stylo badigeon à emballage réduit dans le cas où une aide réalise le badigeon ou vers l'utilisation de gazes sans pince dans le cas où l'injecteur réalise le badigeon.

Concernant le badigeon, nous sommes également restés sur un modèle de flacons unitaires de bétadine de 20 ml car de grands flacons posent un problème en cas d'ouverture pour les derniers patients de la journée et de ne potentiellement pas utiliser le flacon pendant plusieurs jours.

Concernant la solution de rinçage nous nous sommes inspirés des pipettes de sérum physiologique stérile, cependant nous avons privilégié de plus grands contenants (10ml) afin de pouvoir rincer abondamment l'œil du patient et la peau péri-oculaire au besoin.

Pour ce qui est de l'habillement des équipes, nous privilégions les textiles réutilisables, bien qu'ils soient composés de coton, en privilégiant un nombre maximum d'utilisation et une gestion des déchets appropriée avec si possible une valorisation. Nous avons vu au cours de cette étude qu'en optimisant le nombre d'utilisation le textile réutilisable

était tout de même meilleurs sur certains indicateurs y compris sur le réchauffement climatique.

Concernant la tenue de protection des patients, nous avons opté pour la suppression de la blouse car cette dernière n'est pas officiellement recommandée dans le guide des bonnes pratiques des IVT.[52] Un champ de tête stérile est utilisé, une déterision de la peau est effectuée et la zone d'injection se trouve à distance des habits du patient. Nous pouvons par exemple envisager d'utiliser un champ de tête de plus grande dimension, pour bien garantir la zone de stérilité. Pour éviter les écoulements de bétadine nous pourrions envisager de glisser dans le cou du patient des feuilles de papier absorbantes.

Concernant les dispositifs de confort, notamment le support de tête pour les patients âgés, affectés par des raideurs de nuques, il nous semble intéressant d'investir dans un système d'appui tête réutilisable, composé par exemple en gélose, qui serait facilement nettoyable. Il permettrait de remplacer les systèmes d'appui-têtes « maison » composés de nombreux « pansements américains » et qui doivent être régulièrement changés au cours de la séance.

Nous avons également fait intervenir les équipes d'hygiène hospitalière du CHU de Lille au cours de cette étude pour discuter le remplacement des dispositifs de draps de table à usage unique qui séparent le patient de la table d'injection. De cette réflexion est née l'idée que nous pourrions remplacer ce drap de table en plastique à usage unique, changé entre chaque patient, par un nettoyage manuel de la table d'injection entre deux patients par quelques vaporisations d'une solution de nettoyage et un nettoyage manuel bref. Le patient est par ailleurs équipé d'une blouse de protection qui l'isole de la table.

Pour ce qui est de l'enregistrement du patient, nous pourrions imaginer investir dans une machine qui permet d'imprimer les étiquettes une à une. Nous pourrions ainsi imprimer non pas 32 étiquettes mais 1 à 2 étiquettes maximum par patient afin de limiter les impressions inutiles.

Concernant les déchets nous pourrions imaginer une réduction maximale des DASRI, en les limitant à la seringue et l'aiguille d'injection ou au stylo injecteur.

Un circuit de recyclage du papier et des cartons peut facilement être mis en place afin d'y recevoir les notices et les cartons d'emballage des médicaments et des DM. Il est

à noter que la feuille en papier qui entoure les gants stériles est difficilement recyclable car mélangée à du plastique afin de garantir la stérilité des gants stériles.

Nous pourrions également imaginer dans le cadre d'une IVT éco-conçue, en partenariat avec le prestataire des DASAOM, un système de valorisation et de recyclage des résines plastiques dures (notamment le polypropylène et le polyéthylène). Dans ce cas de figure, le tri peut s'effectuer directement sur place, en positionnant différents bacs, avec des illustrations pour orienter vers quel bac va quel déchet. Le tri peut également s'effectuer en aval par le prestataire en investissant dans des machines performantes de tri laser comme l'a fait la société Cosmolys.[91] L'entreprise Elise[121] organise un tel système de valorisation des DASAOM au sein de l'hôpital Bagatelle de Bordeaux.

4.4.8.3 Impact environnemental d'une IVT écoconçue

Nous avons modélisé au sein de cette étude l'impact environnemental d'une IVT écoconçue.

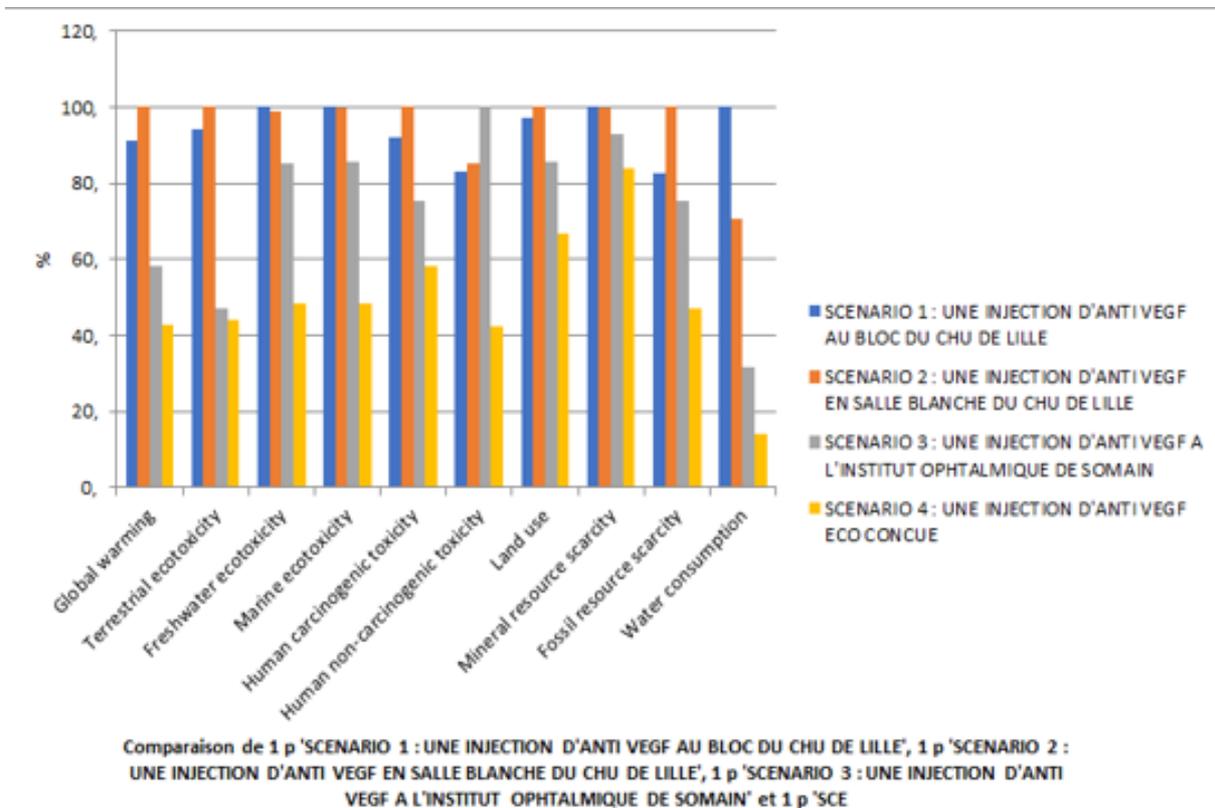


Figure 45 Comparaison de l'impact environnemental d'une IVT écoconçue avec les autres scénarios de l'étude sur chacune des catégories d'impact

Nous avons donc comparé l'IVT écoconçue avec les autres scénarios modélisés dans l'étude. Nous remarquons que l'IVT écoconçue a un impact moindre dans chacune des catégories d'impact (figure 45).

Une IVT écoconçue est responsable de l'émission de 0,98 kgeqCO₂. Soit respectivement 2,14 fois, 2,34 fois et 1,39 fois moins qu'une IVT au bloc et en unité François du CHU de Lille et à l'Institut Ophtalmique de Somain (tableau 14).

En extrapolant au nombre d'IVT réalisées en France chaque l'année, la réalisation d'une IVT écoconçue permettrait de réduire de 1191 tonnes eqCO₂ les émissions de GES liées à l'acte, soit l'équivalent des émissions de 259 véhicules personnels pendant 1 an. Cela correspond également à 15,8 camions citernes remplis d'essence, ou à la séquestration carbone de 19693 arbres qui poussent pendant 10 ans.[34]

Nous remarquons ici que la stérilisation des instruments prend une place importante au sein des différentes catégories d'impact (19,85% des émissions de GES, 68% des radiations ionisantes, 60% de l'eutrophication de l'eau), ce qui est logique étant donné la diminution de la consommation de matière d'une IVT écoconçue. L'emballage des molécules a toujours une part non négligeable au sein des impacts (11,75% des émissions de GES et 43% de la déplétion en ozone stratosphérique). L'utilisation des gants stérile représente 18% des émissions de GES (figure 46).

Légende :	
1	Enregistrement informatique
2	Impression des étiquettes
3	Edition du compte rendu d'opération
4	Lavage des mains
5	Consommation énergétique de la salle
6	Brosse chirurgicale
7	Désinfection des mains
8	1ère et 2ème detersion
9	Habillement du personnel
10	Habillement du patient
11	Installation de la table
12	Pack IVT
13	Evacuation des déchets
14	Désinfection de la salle
15	Antibiotique
16	Rinçage
17	Anesthésiant
18	Gants
19	Emballage des molécules
20	Stérilisation du pack IVT

Tableau 14 Impact environnemental d'une IVT écoconçue d'après Ecolnvt Database [106]

Catégorie d'impact	Unité	Total	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Global warming	kg CO2 eq	0,981152	0,00335	0,0018367	0,0273672	1,04E-03	0,053023	0,004171	0,007652	0,098865	0,098388	0,004369	1,35E-03	0,075722	0,101459	5,17E-04	0,005747	0,00907	0,176654	0,115321	4,39E-04	0,194802
Stratospheric ozone depletion	kg CFC11 eq	4,82E-07	1,46E-09	6,57E-10	1,38E-08	3,30E-10	1,96E-08	1,83E-09	1,02E-08	3,31E-08	8,40E-09	4,80E-09	3,99E-10	1,96E-08	1,48E-08	2,92E-10	3,67E-09	2,36E-09	3,89E-08	2,09E-07	1,39E-10	9,89E-08
Ionizing radiation	kBq Co-60 eq	0,270927	0,00034	0,0001773	0,0038541	2,05E-05	0,05291	0,000102	9,39E-05	0,003666	0,00079	0,007648	0,00121	0,00221	0,00226	0,001196	0,000934	0,000324	0,00226	0,006656	2,48E-05	0,184251
Ozone formation, Human health	kg NOx eq	0,001904	8,39E-06	3,62E-06	7,38E-05	1,30E-06	5,24E-05	5,56E-06	1,48E-05	0,0002	0,000127	7,96E-06	2,58E-06	0,000154	0,000131	1,03E-06	1,43E-05	1,42E-05	0,000369	0,000358	1,30E-06	0,000365
Fine particulate matter formation	kg PM2.5 eq	0,001043	7,66E-06	2,24E-06	5,46E-05	8,18E-07	2,93E-05	2,83E-06	6,75E-06	0,000126	5,93E-05	4,93E-06	1,73E-06	9,12E-05	6,49E-05	7,03E-07	7,09E-06	7,22E-06	1,61E-04	0,000188	1,73E-06	0,000225
Ozone formation	kg NOx eq	0,00197	8,54E-06	3,76E-06	7,50E-05	1,34E-06	5,45E-05	5,92E-06	1,65E-05	0,000209	0,000131	8,14E-06	2,62E-06	0,000161	0,00014	1,05E-06	1,47E-05	1,51E-05	0,00038	0,000365	1,32E-06	0,000375
Terrestrial acidification	kg SO2 eq	0,002443	1,22E-05	4,68E-06	0,0001022	1,89E-06	7,22E-05	6,91E-06	1,77E-05	0,000316	0,000172	1,34E-05	4,97E-06	0,00021	0,000153	1,85E-06	1,63E-05	1,60E-05	0,000429	0,000405	1,90E-06	0,000486
Freshwater eutrophication	kg P eq	0,000259	2,59E-06	5,58E-07	1,42E-05	1,68E-07	6,47E-06	5,19E-07	2,41E-06	2,09E-05	5,56E-06	9,92E-07	2,10E-07	1,41E-05	1,21E-05	1,13E-07	2,38E-06	1,47E-06	1,13E-05	3,37E-05	1,52E-07	0,000129
Marine eutrophication	kg N eq	9,59E-05	3,24E-07	7,66E-08	1,90E-06	7,57E-07	1,58E-06	2,03E-07	9,58E-08	3,04E-06	7,64E-07	2,57E-06	6,78E-07	1,49E-06	1,45E-06	1,90E-07	1,11E-06	4,28E-07	7,83E-06	1,38E-05	1,23E-08	5,77E-05
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DCB	2,234237	0,009469	0,0034648	0,049793	0,002025	0,038282	0,009433	0,010265	0,376569	0,166991	0,009506	0,002948	0,184242	0,184684	0,001213	0,029473	0,022858	0,319915	0,398002	0,014394	0,400712
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DCB	0,04564	0,000922	8,26E-05	0,0020236	4,69E-05	0,001823	0,000197	0,000309	0,006141	0,003796	0,000283	4,38E-05	0,002601	0,004495	2,90E-05	0,000737	0,000427	0,006659	0,005033	4,34E-05	0,009948
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DCB	0,062098	0,000197	0,0001132	0,0026457	6,06E-05	0,002356	0,000275	0,000412	0,008187	0,005362	0,000364	5,65E-05	0,003535	0,00628	3,75E-05	0,000967	0,000597	0,009471	0,006694	6,32E-05	0,013425
Human carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	0,046676	0,000319	0,0001112	0,0025579	4,29E-05	0,001756	0,000152	0,000333	0,005045	0,001627	0,000216	9,97E-05	0,00423	0,002817	3,85E-05	0,00076	0,000288	0,004104	0,007671	0,000875	0,013633
Human non-carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	0,755389	0,013429	0,0015245	0,0400061	0,001072	0,029463	0,00255	0,00508	0,118338	0,040346	0,004977	0,001012	0,049453	0,05712	0,000633	0,014224	0,005764	0,078012	0,106083	0,000681	0,185621
Land use	m2a crop eq	0,075263	7,78E-05	0,0003703	0,0091237	9,26E-05	0,000419	5,61E-05	8,38E-05	0,005684	0,000385	0,000418	2,85E-05	0,004193	0,001032	2,28E-05	0,000607	0,000436	0,009349	0,022773	1,78E-05	0,020094
Mineral resource scarcity	kg Cu eq	0,009576	4,71E-05	3,44E-06	0,0001266	3,30E-06	0,000129	5,20E-06	1,70E-05	0,007848	5,91E-05	1,38E-05	3,00E-06	0,00019	0,000104	1,98E-06	1,47E-05	9,08E-06	8,12E-05	0,000301	4,94E-05	0,00057
Fossil resource scarcity	kg oil eq	0,336702	0,000821	0,0005591	0,0079284	0,000115	0,017114	0,0014	0,004325	0,042034	0,031841	0,00124	0,000614	0,040435	0,036464	0,000183	0,001494	0,002754	0,053752	0,033687	0,000103	0,059837
Water consumption	m3	0,012831	2,84E-05	2,75E-05	0,0005153	1,26E-05	0,000359	2,96E-05	5,82E-05	0,000966	0,000649	0,00028	2,46E-05	0,000787	0,000724	1,21E-05	9,33E-05	0,000102	0,002177	0,002015	3,66E-06	0,003966

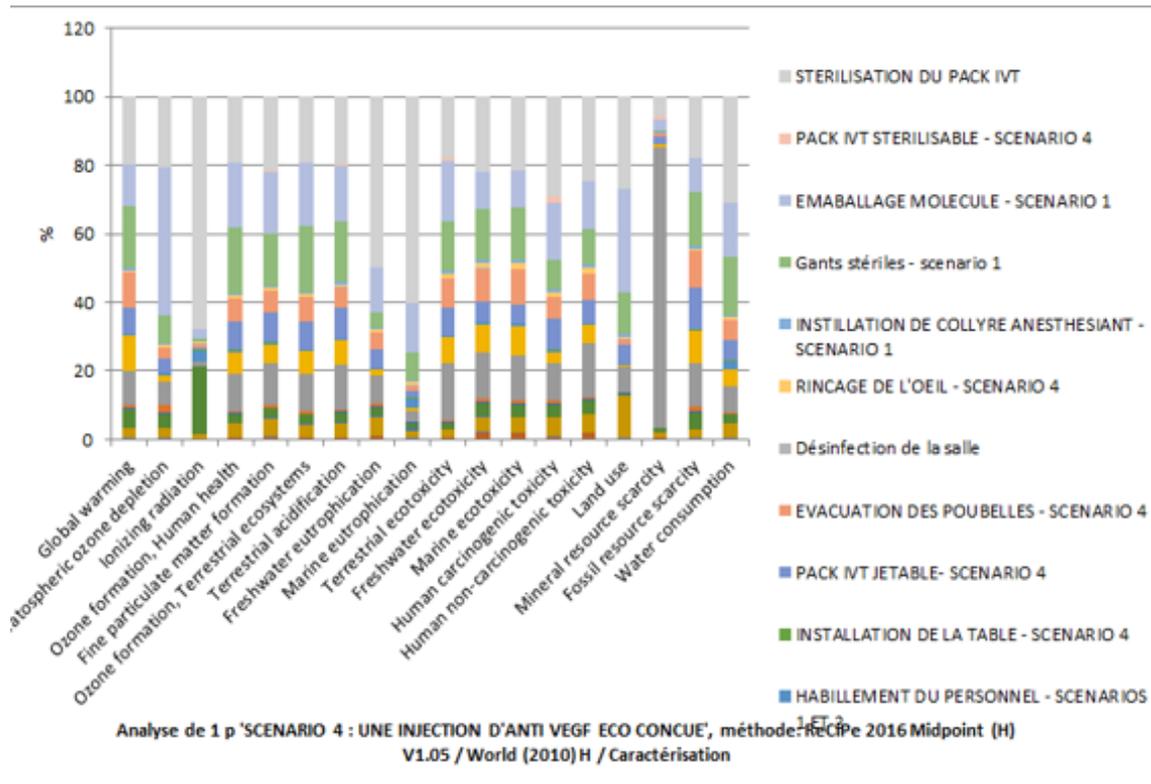


Figure 46 Impact environnemental d'une IVT écoconçue au sein de chacune des catégories d'impact

En comparaison avec l'impact moyen d'une IVT sur les 3 sites d'étude, l'IVT écoconçue permet de réduire de 45% en moyenne sur les impacts globaux (figure 47).

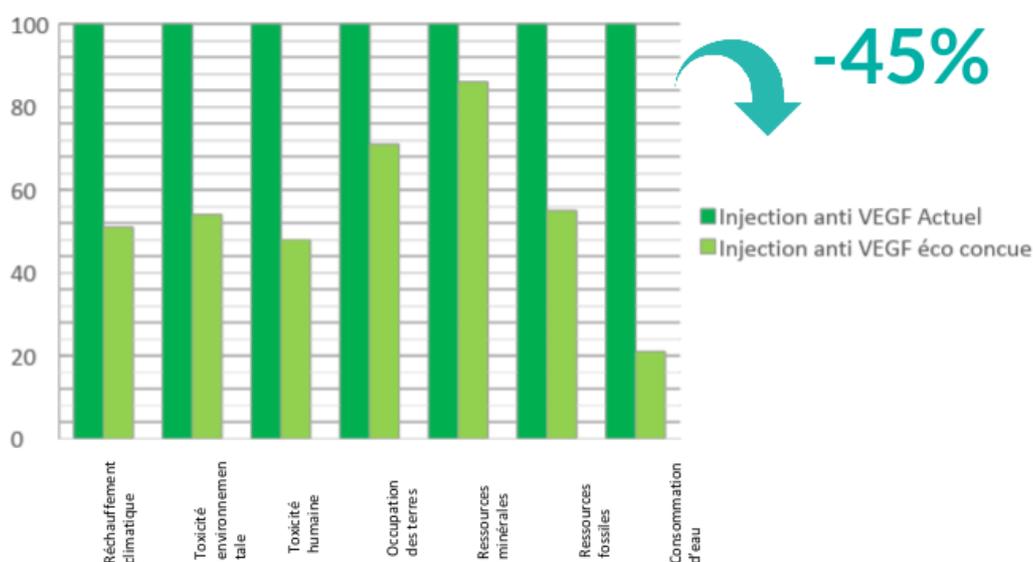


Figure 45 Réduction des impacts environnementaux d'une IVT écoconçue par rapport à l'impact moyen d'une IVT sur les 3 sites d'étude

En extrapolant sur le nombre d'IVT réalisées en France en 1 an, sur les autres indicateurs environnementaux, une IVT écoconçue permettrait de réduire la consommation d'eau d'environ 20 piscines olympiques, de réduire la surface de terre occupée d'environ 3 terrains de football du stade de France, de réduire la toxicité environnementale capable de tuer 1/3 des poissons du lac d'Annecy, de réduire l'épuisement des ressources fossiles de l'ordre de 352 tonnes de pétrole et 2 tonnes de cuivre (figure 48).



Figure 46 Vulgarisation de la réduction des paramètres environnementaux lié à la réalisation d'IVT écoconçues sur la France en 1 an

Nous avons également modélisé au sein de cette étude l'impact environnemental d'un pack IVT écoconçu, afin de pouvoir le comparer au pack IVT sur mesure actuellement utilisé au CHU de Lille (figure 49). Le pack IVT écoconçu fait mieux que le pack jetable dans toutes les catégories d'impact hormis pour la catégorie utilisation des terres.

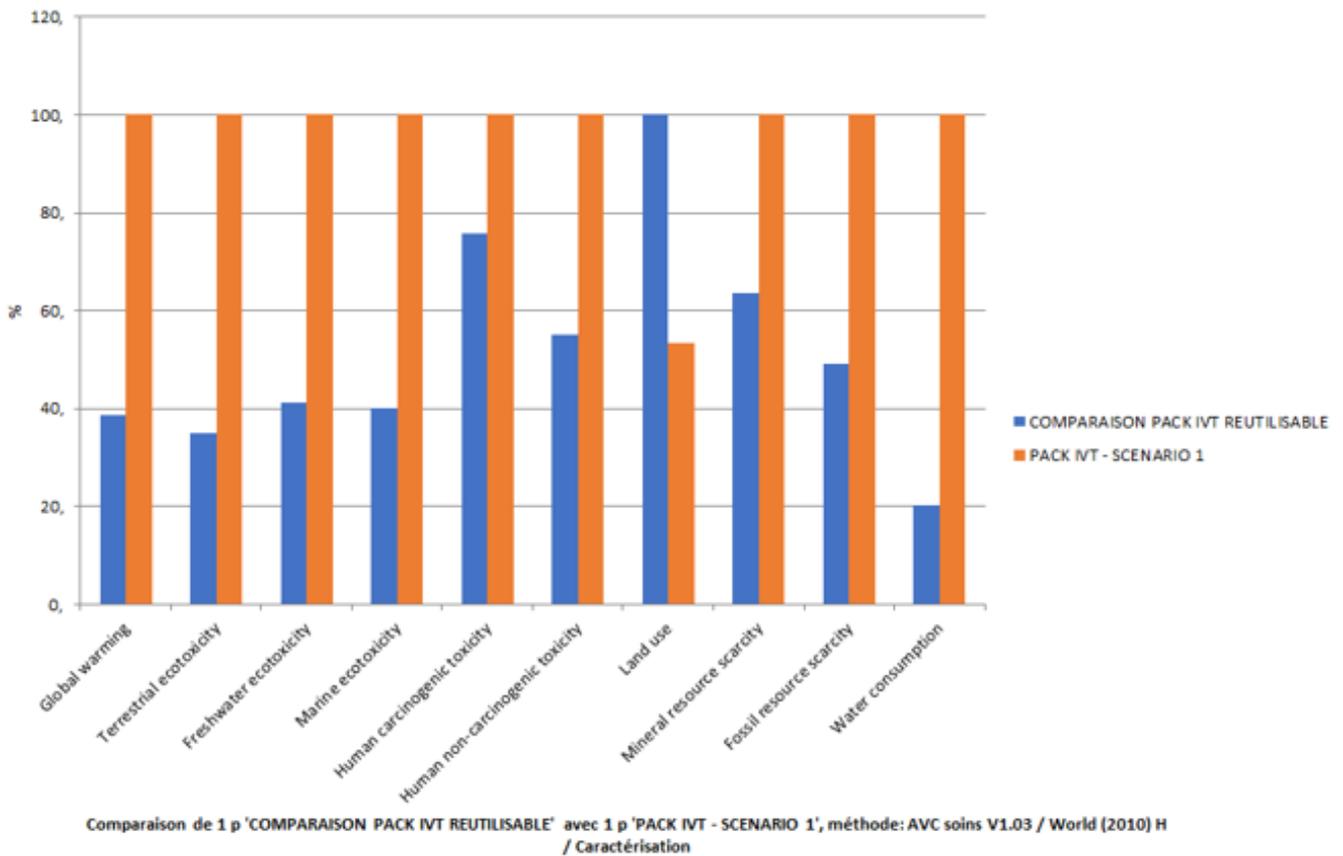


Figure 47 Comparaison de l'impact environnemental d'un pack IVT écoconçu et du pack IVT du CHU de Lille dans chacune des catégories d'impact

Le pack IVT écoconçu est responsable de l'émission de 270 geqCO₂ par IVT soit 2,59 fois moins que le pack jetable du CHU de Lille.

Nous pourrions donc réfléchir collectivement à la faisabilité logistique et économique d'une telle IVT pour l'avenir. Même dans le cas où ce scénario ne serait pas applicable en l'état, nous pourrions peut-être nous en inspirer partiellement ou en tirer des inspirations.

En partant du principe que sur une structure similaire au CHU de Lille, sur 10 ans on dépense environ 384331 euros pour acheter des packs IVT jetables. Un investissement dans un pack écoconçu peut trouver son sens économique.

En supposant que l'on achète 30 packs réutilisables en métal, cela revient à 9132 euros. Chaque passage en stérilisation revient à 6,30 euros, donc sur 10 ans

d'utilisation ce sont 347886 euros dépensés dans l'unité de stérilisation (qui est à Lille et non en Asie).

Cela revient donc sur 10 ans à dépenser 357018 euros, soit 27313 euros de moins.

Il nous reste cependant à ajouter le prix des 5 compresses stériles, du champ de tête d'une cigarette et du système de badigeon.

Nous pouvons y intégrer le fait que le changement du système de rinçage oculaire et la suppression du système de badigeon actuel, permettrait sur 10 ans l'économie respectivement de 69250 euros et 81230 euros (soit 150480 euros) et donc par conséquent d'augmenter l'enveloppe de l'IVT écoconçue.

Ainsi en y regardant de plus près, une IVT écoconçue, sur du long terme, n'est pas forcément une hérésie économique. Elle permet par ailleurs une stimulation du tissu économique locale en utilisant l'unité de stérilisation localisée à quelques centaines de mètres du CHU.

5 Conclusion

Au travers de cette étude, nous avons estimé l'empreinte environnementale des injections intravitréennes et identifié des stratégies susceptibles d'améliorer la performance environnementale de l'acte à l'échelle locale.

Les meilleures pratiques en matière de performance environnementale des injections intravitréennes restent à déterminer, mais mesurer et rapporter les émissions et comparer les profils comme nous l'avons fait ici est un préalable nécessaire.

Nous espérons que cette étude encouragera d'autres personnes à effectuer des évaluations similaires dans les services de soins et qu'elle permettra d'éclairer les praticiens sur les changements à réaliser pour diminuer l'impact environnemental des IVT, avec chacun son échelle d'action locale.

Il serait intéressant que de futurs travaux s'inspirent de ce travail pour identifier et mettre en pratique de potentielles solutions pour diminuer l'impact environnemental d'autres actes médicaux, au niveau national et même mondial. Cette méthode d'analyse est applicable à d'autres procédés chirurgicaux ou actes techniques d'autres spécialités.

Il est clair que des économies d'émissions polluantes, de consommations de ressources et de création de déchets sont possibles et qu'une action multidisciplinaire doit être entreprise pour minimiser les effets néfastes du secteur de la Santé sur l'environnement.

En s'inspirant de ce travail, les ophtalmologistes pourraient réduire la quantité de matériel utilisé, les émissions et les déchets des IVT en appliquant certains principes énoncés. A grande échelle ces stratégies pourraient avoir un impact significatif.

Nous avons également vu au cours de cette étude qu'une IVT écoconçue pouvait également trouver tout son sens au niveau économique. De plus, elle stimule le tissu économique local.

Nous espérons que les décideurs et les industriels s'inspireront également de ce travail pour initier des changements de pratiques. Nous sommes à leur disposition pour apporter notre aide dans cette démarche.

Citations

« Pour ce qui est de l'avenir, il ne s'agit pas de le prévoir, mais de le rendre possible »

Antoine de Saint Exupéry, 1948

« Rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme »

Antoine Laurent Lavoisier, 1789

« Nous n'héritons pas de la terre de nos parents, nous l'empruntons à nos enfants »

Antoine de Saint Exupéry

« Personne n'a la responsabilité de tout faire, mais chacun doit accomplir quelque chose »

Henry David Thoreau

« C'est une triste chose de songer que la nature parle et que le genre humain ne l'écoute pas »

Victor Hugo

« Nous ne pourrions pas dire à nos enfants que nous ne savions pas »

COP 21 de Paris

Liste des tableaux

Tableau 1 Répartition des émissions de GHS au sein du NHS Anglais d'après le rapport sur l'empreinte carbone du NHS[29]	22
Tableau 2 Impact environnemental d'une IVT au Bloc opératoire du CHU de Lille (énergie + consommables) d'après Ecolnvent Database [106]	118
Tableau 3 Impact environnemental d'une IVT au Bloc opératoire du CHU de Lille (énergie + consommables + transport patient) d'après Ecolnvent Database [106]	118
Tableau 4 Impact environnemental d'une IVT en unité François du CHU de Lille (énergie + consommables) d'après Ecolnvent Database [106]	119
Tableau 5 Impact environnemental d'une IVT en unité François du CHU de Lille (énergie + consommables + transport patient) d'après Ecolnvent Database [106]	119
Tableau 6 Impact environnemental d'une IVT à l'Institut Ophtalmique de Somain (énergie + consommables) d'après Ecolnvent Database [106]	120
Tableau 7 Impact environnemental d'une IVT à l'Institut Ophtalmique de Somain (énergie + consommables + transport patient) d'après Ecolnvent Database [106]	120
Tableau 8 Impact environnemental des molécules d'après le EIO-LCA Carnegie Mellon University Tool Impact environnemental des molécules [108]	121
Tableau 9 : Empreinte carbone d'une IVT en kgeqCO ₂ pour chaque site en fonction des paramètres pris en considération.....	122
Tableau 10 Pourcentage relatif de la part du pack IVT sur mesure et du pack déterision du CHU de Lille dans chaque catégorie d'impact	128
Tableau 11 Caractéristiques des déchets analysés lors des différentes sessions d'IVT sur les 3 sites d'étude	134
Tableau 12 Répartition des déchets par catégories (DASAOM, DASRI, recyclage) par site	135
Tableau 13 Comparaison des impacts environnementaux de la blouse jetable et la blouse réutilisable.....	176
Tableau 14 Impact environnemental d'une IVT écoconçue d'après Ecolnvent Database [106]	185

Liste des figures

Figure 1 "Footprint carved in wood", oeuvre de Reinhard Krause	10
Figure 2 Les différentes composantes de l'Effet de serre d'après Météo-France[13]	11
Figure 3 Changement de la température terrestre relatif aux activités humaines en comparaison avec la période préindustrielle d'après le rapport de l'Intergovernmental Panel on Climate Change[15].....	13
Figure 4 Réchauffement climatique régional durant la période 2006-2015 par rapport à la période préindustrielle d'après le rapport de l'Intergovernmental Panel on Climate Change[15].....	14
Figure 5 Prédiction de la montée des eaux en Europe en cas de fonte totale des glaces terrestre d'après les estimations du National Geographic Journal[16].....	15
Figure 6 Prédiction de la montée des eaux en Asie en cas de fonte totale des glaces terrestre d'après les estimations du National Geographic Journal[16].....	16
Figure 7 Emissions de GHS du système de santé américain en valeur absolue et en % des émissions totales de GHS du pays sur la période 2003 à 2013 d'après Eckelman et al.[2].....	21
Figure 8 Comparaison des émissions de GHS pour une chirurgie de cataracte par phacoémulsification entre l'Angleterre et l'Inde d'après Thiel et al.[3]	27
Figure 9 Périmètre d'investigation du bilan d'émission de GES du CHU de Lille d'après le groupe Audiccé	33
Figure 10 Poids (colonne de gauche) et émissions de GES (colonne de droite) des packs chirurgicaux en fonction de leur composition d'après Champion et al.[63].....	51
Figure 11 Différents robinets utilisés dans l'étude de Somner et Al[65].....	52
Figure 12 Bloc opératoire au Aravind Eye Hospital dans le Tamil Nadu Inde d'après Thiel et al.[3].....	57
Figure 13 Schéma de l'Economie circulaire d'après l'ADEME[70].....	61
Figure 14 Emissions de CO2 en fonction du type de matériel anesthésique utilisé (réutilisable ou jetable) et du lieu d'utilisation (Europe, Australie, ou Etats-Unis) d'après McGain et Al[76].....	67
Figure 15 Schéma d'un four d'incinérateur d'après les informations fournies par Cosmolys[91].....	74
Figure 16 Schéma du Système Ecosteryl d'après les information fournies par Cosmolys[91].....	75
Figure 17 Evolution de la gestion des déchets avant et après formation d'après la thèse du Docteur Del Bove	80
Figure 18 Classifications des résines plastiques selon le RIC.....	82
Figure 19 Produits injectables en intravitréen.....	85
Figure 20 Croissance annuelle du nombre d'IVT en France d'après les données du GERS[101]	86

Figure 21 Schéma de cycle de vie des injections intra vitréennes.....	93
Figure 22 Répartition des émissions de GES pour 1 IVT en fonction des paramètres pris en compte dans l'ACV au Bloc opératoire du CHU de Lille	123
Figure 23 Comparaison des 3 sites d'étude, sur chacun des facteurs d'impact environnementaux étudiés, pour une IVT	125
Figure 24 Détail de chaque impact environnemental au bloc opératoire du CHU de Lille	126
Figure 25 Détail de chaque impact environnemental en unité François du CHU de Lille	127
Figure 26 Détail de chaque impact environnemental à l'Institut Ophtalmique de Somain	127
Figure 27 Décomposition de l'impact carbone du pack IVT sur mesure au CHU de Lille	129
Figure 28 Décomposition de l'impact carbone (à gauche de la figure) et de la réduction de la couche d'ozone stratosphérique (à droite de la figure) du pack déterision au CHU de Lille	130
Figure 29 Impact environnemental des emballages des molécules dans les différentes catégories d'impact.....	131
Figure 30 Comparaison de l'impact environnemental de la blouse patient jetable en plastique et la blouse patient réutilisable en coton dans les différentes catégories d'impact	132
Figure 31 Comparaison de l'impact du transport du pack IVT sur mesure de l'institut Ophtalmique de Somain en considérant le lieu exact de production du pack et le siège français de l'entreprise (comme il est habituel de faire dans les études en cas de manque d'informations) sur l'ensemble des catégories d'impact.....	133
Figure 32 Poids moyen des déchets pour une injection par catégorie (DASAOM, DASRI, recyclage) par site	136
Figure 33 Répartition du poids moyen des déchets par catégories (DASAOM, DASRI, recyclage) par site	136
Figure 34 Pourcentage du poids des objets non utilisés par rapport à l'ensemble au poids du pack IVT par site (à gauche) et pourcentage des objets non utilisés (en rouge) par rapport aux objets utilisés du pack IVT (en vert) par site (à droite)	138
Figure 35 Comparaison de l'impact environnemental de différents textiles médicaux d'après les données de l'agence Primum Non Nocere	146
Figure 36 Extrapolation des déchets générés par les IVT en France sur 1 an par catégories (DASAOM, DASRI, recyclage).....	150
Figure 37 Comparaison de l'impact environnemental de la gestion des déchets en plastique dans chacune des catégories d'impact (en vert l'enfouissement, en orange l'incinération, en jaune la banalisation).....	163
Figure 38 Impact des systèmes de prise en charge des déchets sur chacune des catégories d'impact.....	163

Figure 39 Comparaison de l'impact environnemental d'un flacon de BSS de 10ml avec une pipette stérile se sérum physiologique de 10 ml sur chacune des catégories d'impacts	166
Figure 40 Impact environnemental de la stérilisation par autoclave, oxyde d'éthylène et par irradiation gamma.....	169
Figure 41 Emballage d'une seringue préremplie de Bevacizumab (Avastin) au sein de l'hôpital de Pondichéry avec l'aimable courtoisie du Dr Sivateja.	174
Figure 42 Comparaison des impacts environnementaux de la blouse jetable et du processus de lavage de la blouse réutilisable	175
Figure 43 Comparaison des impacts environnementaux de la blouse jetable et la blouse réutilisable en fonction du nombre d'utilisations	176
Figure 44 Hiérarchisation arbitraire des différents impacts environnementaux	177
Figure 47 Réduction des impacts environnementaux d'une IVT écoconçue par rapport à l'impact moyen d'une IVT sur les 3 sites d'étude	186
Figure 48 Vulgarisation de la réduction des paramètres environnementaux lié à la réalisation d'IVT éco-conçues sur la France en 1 an.....	187
Figure 49 Comparaison de l'impact environnemental d'un pack IVT écoconçu et du pack IVT du CHU de Lille dans chacune des catégories d'impact.....	188

Références

- [1] Crutzen P. The anthropocene, International Geosphere-Biosphere Programme Newsletter, 2000, n°41, p17. n.d.
- [2] Eckelman MJ, Sherman J. Environmental Impacts of the U.S. Health Care System and Effects on Public Health. PLOS ONE 2016;11:e0157014. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0157014>.
- [3] Thiel CL, Schehlein E, Ravilla T, Ravindran RD, Robin AL, Saeedi OJ, et al. Cataract surgery and environmental sustainability: Waste and lifecycle assessment of phacoemulsification at a private healthcare facility: J Cataract Refract Surg 2017;43:1391–8. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2017.08.017>.
- [4] Morris DS, Wright T, Somner JEA, Connor A. The carbon footprint of cataract surgery. Eye 2013;27:495–501. <https://doi.org/10.1038/eye.2013.9>.
- [5] Zaluski S. Impact environnemental de la chirurgie de la cataracte : contexte réglementaire et analyse. Réal Ophtalmol 2012. Accessible sur : <https://www.realites-ophtalmologiques.com/2012/12/01/impact-environnemental-de-la-chirurgie-de-la-cataracte-contexte-reglementaire-et-analyse/>.
- [6] Namburar S, Pillai M, Varghese G, Thiel C, Robin AL. Waste generated during glaucoma surgery: A comparison of two global facilities. Am J Ophthalmol Case Rep 2018;12:87–90. <https://doi.org/10.1016/j.ajoc.2018.10.002>.
- [7] MacNeill AJ, Lillywhite R, Brown CJ. The impact of surgery on global climate: a carbon footprinting study of operating theatres in three health systems. Lancet Planet Health 2017;1:e381–8. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(17\)30162-6](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(17)30162-6).
- [8] Thiel CL, Eckelman M, Guido R, Huddleston M, Landis AE, Sherman J, et al. Environmental Impacts of Surgical Procedures: Life Cycle Assessment of Hysterectomy in the United States. Environ Sci Technol 2015;49:1779–86. <https://doi.org/10.1021/es504719g>.
- [9] Champion N, Thiel CL, DeBlois J, Woods NC, Landis AE, Bilec MM. Life cycle assessment perspectives on delivering an infant in the US. Sci Total Environ 2012;425:191–8. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.03.006>.
- [10] Xu Y, Zaelke D, Velders GJM, Ramanathan V. The role of HFCs in mitigating 21st century climate change. Atmospheric Chem Phys 2013;13:6083–9. <https://doi.org/10.5194/acp-13-6083-2013>.
- [11] Berneers-Lee M. How bad are bananas : The carbon footprint of everything. 2010.
- [12] Arthus-Bertrand Y. Legacy, notre héritage. 2021.
- [13] Météo France. Effet de serre : définition, gaz à effet serre (GES), réchauffement climatique n.d. <http://www.meteofrance.fr/climat-passe-et-futur/comprendre-le-climat-mondial/leffet-de-serre-et-autres-mecanismes>.
- [14] Asher M. Climate After Growth : Why Environmentalists Must Embrace Post-Growth Economics and Community Resilience. 2013.

- [15] IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) : les publications. n.d. Accessible sur : <https://www.ipcc.ch/languages-2/francais/publications/>.
- [16] National Geographic France. Voici à quoi ressemblerait le monde si la glace continentale venait à fondre. Natl Geogr 2017. Accessible sur : <https://www.nationalgeographic.fr/environnement/voici-quoi-ressemblerait-le-monde-si-la-glace-continentale-venait-fondre>.
- [17] Steffen W, Rockström J, Richardson K, Lenton TM, Folke C, Liverman D, et al. Trajectories of the Earth System in the Anthropocene. Proc Natl Acad Sci 2018;115:8252–9. <https://doi.org/10.1073/pnas.1810141115>.
- [18] IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) : les publications. Global Warming of 1.5 °C. n.d. <https://www.ipcc.ch/sr15/>.
- [19] Wang H, Horton R. Tackling climate change: the greatest opportunity for global health. The Lancet 2015;386:1798–9. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(15\)60931-X](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(15)60931-X).
- [20] United Nations Development Programme. Climate Change: Perspectives from India. Lasting Solutions for Development Challenges 2009:72.
- [21] World Health Organization. Global health risks: mortality and burden of disease attributable to selected major risks. Glob Health Risks Mortal Burd Dis Attrib Sel Major Risks 2009. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/44203>.
- [22] 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 2019;394:1836–78. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(19\)32596-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(19)32596-6).
- [23] Watts N, Adger WN, Agnolucci P, Blackstock J, Byass P, Cai W, et al. Health and climate change: policy responses to protect public health. The Lancet 2015;386:1861–914. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(15\)60854-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(15)60854-6).
- [24] Costello A, Abbas M, Allen A, Ball S, Bell S, Bellamy R, et al. Managing the health effects of climate change. The Lancet 2009;373:1693–733. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(09\)60935-1](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(09)60935-1).
- [25] Public Health Linkages with Sustainability: Workshop Summary. Washington, D.C.: National Academies Press; 2013. <https://doi.org/10.17226/18375>.
- [26] DiConsiglio J. Reprocessing SUDs reduces waste, costs. Mater Manag Health Care 2008;17:40–2.
- [27] McGain F, Muret J, Lawson C, Sherman JD. Environmental sustainability in anaesthesia and critical care. Br J Anaesth 2020;125:680–92. <https://doi.org/10.1016/j.bja.2020.06.055>.
- [28] Hendee WR. To Err is Human: Building a Safer Health System. J Vasc Interv Radiol 2001;12:P112–3. [https://doi.org/10.1016/S1051-0443\(01\)70072-3](https://doi.org/10.1016/S1051-0443(01)70072-3).
- [29] NHS sustainable development unit. Carbon Footprint update for NHS in England. 2015.
- [30] Greenhouse Gas Protocol n.d. Accessible sur : <https://ghgprotocol.org/>.

- [31] Kagoma Y, Stall N, Rubinstein E, Naudie D. People, planet and profits: the case for greening operating rooms. *Can Med Assoc J* 2012;184:1905–11. <https://doi.org/10.1503/cmaj.112139>.
- [32] US Energy Information Administration. Commercial Buildings Energy Consumption Survey 2018:24.
- [33] Le H-G, Ehrlich JR, Venkatesh R, Srinivasan A, Kolli A, Haripriya A, et al. A Sustainable Model For Delivering High-Quality, Efficient Cataract Surgery In Southern India. *Health Aff (Millwood)* 2016;35:1783–90. <https://doi.org/10.1377/hlthaff.2016.0562>.
- [34] US EPA O. Greenhouse Gas Equivalencies Calculator. US EPA 2015. <https://www.epa.gov/energy/greenhouse-gas-equivalencies-calculator> (accessed May 8, 2021).
- [35] Haripriya A, Chang DF, Ravindran RD. Endophthalmitis reduction with intracameral moxifloxacin in eyes with and without surgical complications: Results from 2 million consecutive cataract surgeries: *J Cataract Refract Surg* 2019;45:1226–33. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2019.04.018>.
- [36] Tauber J, Chinwuba I, Kleyn D, Rothschild M, Kahn J, Thiel CL. Quantification of the Cost and Potential Environmental Effects of Unused Pharmaceutical Products in Cataract Surgery. *JAMA Ophthalmol* 2019;137:1156. <https://doi.org/10.1001/jamaophthalmol.2019.2901>.
- [37] ASCRS Releases Position Statement on Two Established Ophthalmic Practices n.d. <https://ascrs.org/clinical-education/clinical-reports/2015-cr-ascrs-releases-position-statement-on-two-established-ophthalmic-practices> (accessed May 8, 2021).
- [38] Jensen MK, Nahoopii R, Johnson B. Using Multidose Eyedrops in a Health Care Setting: A Policy and Procedural Approach to Safe and Effective Treatment of Patients. *JAMA Ophthalmol* 2014;132:1476. <https://doi.org/10.1001/jamaophthalmol.2014.3248>.
- [39] Jampel HD, Musch DC, Gillespie BW, Lichter PR, Wright MM, Guire KE. Perioperative Complications of Trabeculectomy in the Collaborative Initial Glaucoma Treatment Study (CIGTS). *Am J Ophthalmol* 2005;140:16–22. <https://doi.org/10.1016/j.ajo.2005.02.013>.
- [40] Zahid S, Musch DC, Niziol LM, Lichter PR. Risk of Endophthalmitis and Other Long-Term Complications of Trabeculectomy in the Collaborative Initial Glaucoma Treatment Study (CIGTS). *Am J Ophthalmol* 2013;155:674-680.e1. <https://doi.org/10.1016/j.ajo.2012.10.017>.
- [41] Chatton C. Bilan des émissions de Gaz à effet de Serre du CHU de Lille. 2017.
- [42] LOI n° 2010-788 du 12 juillet 2010 portant engagement national pour l'environnement. 2010.
- [43] Nations Unies. Rapport de la Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement. Rio de Janeiro: Nations unies; 1992.
- [44] Haute Autorité de santé (HAS). Certification v2010. Haute Aut Santé n.d. https://www.has-sante.fr/jcms/c_2969340/fr/decouvrir-la-nouvelle-certification.

- [45] LOI n° 2009-967 du 3 août 2009 de programmation relative à la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement (1). 2009.
- [46] Groupe d'étude des marchés produits de santé (GEM-PS). Guide pour des achats durables appliqués aux produits de la Santé. 2013.
- [47] ISO. Norme ISO 14040:2006 : Management environnemental — Analyse du cycle de vie — Principes et cadre n.d. <https://www.iso.org/obp/ui/fr/#iso:std:iso:14040:ed-2:v1:fr>.
- [48] ADEME. Documentation des facteurs d'émissions de la Base Carbone. 2014.
- [49] Pedersen B. Overview and Methodology : Data quality guideline for the ecoinvent database version 3 2013:170.
- [50] Kennelly C, Berners-Lee M, Hewitt CN. Hybrid life-cycle assessment for robust, best-practice carbon accounting. *J Clean Prod* 2019;208:35–43. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.09.231>.
- [51] ADEME. Centre de ressources sur les bilans de gaz à effet de serre n.d. <https://www.bilans-ges.ademe.fr/fr/basecarbone/donnees-consulter/choix-categorie/categorie/62>.
- [52] Cohen S-Y, Kodjikian L, Devin F, Delyfer M-N, Dot C, Oubraham H, et al. Avis d'experts : actualisation des bonnes pratiques des injections intravitréennes. Recommandations de la Société française d'ophtalmologie et de la Société française d'hygiène hospitalière. *J Fr Ophtalmol* 2020;43:59–62. <https://doi.org/10.1016/j.jfo.2019.11.002>.
- [53] Société française d'hygiène hospitalière. Mise à jour de la conférence de consensus sur la gestion préopératoire du risque infectieux. 2013.
- [54] Friedman DA, Mason JO, Emond T, Mcgwin G. POVIDONE–IODINE CONTACT TIME AND LID SPECULUM USE DURING INTRAVITREAL INJECTION. *Retina* 2013;33:975–81. <https://doi.org/10.1097/IAE.0b013e3182877585>.
- [55] Nikkhah H, Karimi S, Ahmadi H, Azarmina M, Abrishami M, Ahoor H, et al. Intravitreal injection of anti-vascular endothelial growth factor agents for ocular vascular diseases: Clinical practice guideline. *J Ophthalmic Vis Res* 2018;13:158. https://doi.org/10.4103/jovr.jovr_50_18.
- [56] Ministère de la Transition écologique. L'éco-conception des produits n.d. <https://www.ecologie.gouv.fr/leco-conception-des-produits>.
- [57] Kagoma Y, Stall N, Rubinstein E, Naudie D. People, planet and profits: the case for greening operating rooms. *Can Med Assoc J* 2012;184:1905–11. <https://doi.org/10.1503/cmaj.112139>.
- [58] Décret n° 2016-288 du 10 mars 2016 portant diverses dispositions d'adaptation et de simplification dans le domaine de la prévention et de la gestion des déchets. 2016.
- [59] Infection Prevention in Eye Care Services and Operating Areas and Operating Rooms - 2012. *Am Acad Ophthalmol* 2012. <https://www.aao.org/clinical-statement/infection-prevention-in-eye-care-services-operatin> (accessed June 2, 2021).

- [60] Rahman MQ, Tejwani D, Wilson JA, Butcher I, Ramaesh K. Microbial contamination of preservative free eye drops in multiple application containers. *Br J Ophthalmol* 2006;90:139–41. <https://doi.org/10.1136/bjo.2005.078386>.
- [61] Rautenbach P, Wilson A, Gouws P. The reuse of ophthalmic minimims®: an unacceptable cross-infection risk? *Eye* 2010;24:50–2. <https://doi.org/10.1038/eye.2009.39>.
- [62] Somner JEA, Cavanagh DJ, Wong KKY, Whitelaw M, Thomson T, Mansfield D. The precautionary principle: what is the risk of reusing disposable drops in routine ophthalmology consultations and what are the costs of reducing this risk to zero? *Eye* 2010;24:361–3. <https://doi.org/10.1038/eye.2009.129>.
- [63] Champion N, Thiel CL, Woods NC, Swanzly L, Landis AE, Bilec MM. Sustainable healthcare and environmental life-cycle impacts of disposable supplies: a focus on disposable custom packs. *J Clean Prod* 2015;94:46–55. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.01.076>.
- [64] Chapagain AK, Hoekstra AY, Savenije HHG, Gautam R. The water footprint of cotton consumption: An assessment of the impact of worldwide consumption of cotton products on the water resources in the cotton producing countries. *Ecol Econ* 2006;60:186–203. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2005.11.027>.
- [65] Somner JEA, Stone N, Koukkoulli A, Scott KM, Field AR, Zygmunt J. Surgical scrubbing: can we clean up our carbon footprints by washing our hands? *J Hosp Infect* 2008;70:212–5. <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2008.06.004>.
- [66] Chang DF, Thiel CL, for the Ophthalmic Instrument Cleaning and Sterilization Task Force. Survey of cataract surgeons' and nurses' attitudes toward operating room waste. *J Cataract Refract Surg* 2020;46:933–40. <https://doi.org/10.1097/j.jcrs.000000000000267>.
- [67] Tsaousis KT, Werner L, Reiter N, Perez JP, Li HJ, Guan JJ, et al. Comparison of different types of phacoemulsification tips. II. Morphologic alterations induced by multiple steam sterilization cycles with and without use of enzyme detergents: *J Cataract Refract Surg* 2016;42:1353–60. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2016.02.053>.
- [68] Tsaousis KT, Chang DF, Werner L, Perez JP, Guan JJ, Reiter N, et al. Comparison of different types of phacoemulsification tips. III. Morphological changes induced after multiple uses in an ex vivo model: *J Cataract Refract Surg* 2018;44:91–7. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2017.08.023>.
- [69] Nations Unies. Programme des Nations Unies pour l'Environnement – Bureau de L'Envoyé du Secrétaire général pour la Jeunesse 2013. <https://www.un.org/youthenvoy/fr/2013/08/pnue-programme-nations-unies-lenvironnement/>.
- [70] ADEME. Économie circulaire : expertises n.d. <https://www.ademe.fr/expertises/economie-circulaire>.
- [71] Sherman JD, MacNeill A, Thiel C. Reducing Pollution From the Health Care Industry. *JAMA* 2019;322:1043–4. <https://doi.org/10.1001/jama.2019.10823>.
- [72] European Environment Agency. Data and maps n.d. <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps>.

- [73] McGain F, Moore G, Black J. Steam sterilisation's energy and water footprint. *Aust Health Rev* 2017;41:26. <https://doi.org/10.1071/AH15142>.
- [74] McGain F, McAlister S, McGavin A, Story D. The financial and environmental costs of reusable and single-use plastic anaesthetic drug trays. *Anaesth Intensive Care* 2010;38:538–44. <https://doi.org/10.1177/0310057X1003800320>.
- [75] McGain F, McAlister S, McGavin A, Story D. A life cycle assessment of reusable and single-use central venous catheter insertion kits. *Anesth Analg* 2012;114:1073–80. <https://doi.org/10.1213/ANE.0b013e31824e9b69>.
- [76] McGain F, Story D, Lim T, McAlister S. Financial and environmental costs of reusable and single-use anaesthetic equipment. *Br J Anaesth* 2017;118:862–9. <https://doi.org/10.1093/bja/aex098>.
- [77] Eckelman M, Mosher M, Gonzalez A, Sherman J. Comparative Life Cycle Assessment of Disposable and Reusable Laryngeal Mask Airways: *Anesth Analg* 2012;114:1067–72. <https://doi.org/10.1213/ANE.0b013e31824f6959>.
- [78] Sherman JD, Raibley LA, Eckelman MJ. Life Cycle Assessment and Costing Methods for Device Procurement: Comparing Reusable and Single-Use Disposable Laryngoscopes. *Anesth Analg* 2018;127:434–43. <https://doi.org/10.1213/ANE.0000000000002683>.
- [79] Sanchez S, Eckelman M, Sherman J. Environmental and economic comparison of reusable and disposable blood pressure cuffs in multiple clinical settings. *Resour Conserv Recycl* 2020;155:104643. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104643>.
- [80] Overcash M. A Comparison of Reusable and Disposable Perioperative Textiles: Sustainability State-of-the-Art 2012. *Anesth Analg* 2012;114:1055–66. <https://doi.org/10.1213/ANE.0b013e31824d9cc3>.
- [81] Mangram AJ, Horan TC, Pearson ML, Silver LC, Jarvis WR. Guideline for Prevention of Surgical Site Infection, 1999. Centers for Disease Control and Prevention (CDC) Hospital Infection Control Practices Advisory Committee. *Am J Infect Control* 1999;27:97–132; quiz 133–4; discussion 96.
- [82] Paillat D. Déchets hospitaliers : Peut-on réaliser des économies en “déclassant” certains DASRI en DADM? *HYGIENES* 2019:375–9.
- [83] Article R1335-1 - Code de la santé publique - Légifrance n.d. https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article_lc/LEGIARTI000033481358/ (accessed May 28, 2021).
- [84] Direction générale de la santé. Déchets d'activités de soins à risques : comment les éliminer? 2009.
- [85] Tri des déchets d'activités de soins des professionnels de santé du secteur diffus. *Libr ADEME* n.d. <https://librairie.ademe.fr/dechets-economie-circulaire/268-tri-des-dechets-d-activites-de-soins-des-professionnels-de-sante-du-secteur-diffus.html> (accessed May 28, 2021).
- [86] Ministère des Affaires sociales et de la Santé. Guide pratique pour une bonne gestion des déchets produits par les établissements de santé et médico-sociaux : Déchets issus de médicaments. 2016.

- [87] Centre National d'Information Indépendante sur les Déchets (CNIID). Le fonctionnement d'une décharge n.d. <https://www.cniid.org/Le-fonctionnement-d-une-decharge,21>.
- [88] Journal Officiel de la République Française (JORF). Arrêté du 15 février 2016 relatif aux installations de stockage de déchets non dangereux. n.d.
- [89] Journal Officiel de la République Française (JORF). Loi de transition énergétique pour la croissance verte n.d. <https://www.legifrance.gouv.fr/codes/id/LEGISCTA000006176615/>.
- [90] ADEME – Etude sur le bilan du traitement des DASRI en France – 2013 – Disponible sur <https://www.ademe.fr> n.d.
- [91] Santély. Cosmolys, spécialiste de la collecte et le traitement des déchets médicaux à risques infectieux. n.d. <http://www.santelys.asso.fr/perf-dechets.html>.
- [92] Lallemand F, Bonnet L, Guichard N, Houppert M-F, Chandler-Jeanville S, Pujol K, et al. GESTION DES DECHETS DE SOINS AU BLOC OPERATOIRE ET EN REANIMATION. Com Dév Durable En Santé n.d.:2.
- [93] Directive n° 2008/98/CE du 19/11/08 relative aux déchets et abrogeant certaines directives | AIDA n.d. https://aida.ineris.fr/consultation_document/30887 (accessed May 28, 2021).
- [94] Del Bove L. Impact d'une formation sur les conséquences environnementales des activités du bloc opératoire : pour une gestion eco-responsable des déchets et des gaz d'anesthésie. Thèse Pour Dr En Médecine 2019:79.
- [95] Article L541-1-1 - Code de l'environnement - Légifrance n.d. https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article_lc/LEGIARTI000023248311/2020-02-12 (accessed May 30, 2021).
- [96] Bonnet L, Wong K-H. Recyclage des plastiques en établissement de Santé. Com Dev Durable En Santé n.d.:2.
- [97] Euro-Pharmat. Les Dispositifs Médicaux n.d. <https://www.euro-pharmat.com/>.
- [98] Ministère des Solidarités et de la Santé. Base de données publique des médicaments n.d. <https://base-donnees-publique.medicaments.gouv.fr/>.
- [99] Wong K-H, Deflandre E, Garnier J, Muret J, Bonnet L. Recyclage des métaux au bloc opératoire et en réanimation. Com Dev Durable En Santé n.d.:2.
- [100] Association les P'tits Doudous n.d. <https://www.lesptitsdoudous.org/>.
- [101] GERS. Nos Analyses : chiffres clés n.d. <https://www.gie-gers.fr/nos-analyses/>.
- [102] Google Maps n.d. <https://www.google.com/maps/@50.6288598,3.0621533,14z>.
- [103] Architecture Hospitalière | Le magazine des acteurs de l'hôpital de demain n.d. <https://www.architecture-hospitaliere.fr/> (accessed June 30, 2021).
- [104] LégiFrance. Journal Officiel de la République Française : "Lois et décrets" n.d. <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/jo>.

- [105] Boedeker. Burn Test Identification for Plastics n.d. <https://www.boedeker.com/Technical-Resources/Technical-Library/Plastic-Identification>.
- [106] World seaports catalogue, marine and seaports marketplace n.d. <http://ports.com/> (accessed July 13, 2021).
- [107] Thomann A. Evaluation des coûts des différents traitements intravitréens dans la gestion de l'œdème maculaire diabétique. Thèse pour le Doctorat en Médecine. 2018.
- [108] Ecoinvent Version 3 n.d. <https://www.ecoinvent.org/database/database.html>.
- [109] SimaPro | The world's leading LCA software. SimaPro n.d. <https://simapro.com/>.
- [110] Carnegie Mellon University Green design Institute. Economic input-output life cycle assessment (EIO-LCA) 2002. <http://www.eiolca.net/cgi-bin/dft/use.pl?searchTerms=pharmaceutical&newmatrix=US430CIDOC2002>.
- [111] Bloomberg Markets. Euros to US Dollars Exchange Rate n.d. <https://www.bloomberg.com/quote/EURUSD:CUR>.
- [112] Department of Labor data. U.S. Inflation Calculator n.d. <https://www.in2013dollars.com>.
- [113] US Environmental Protection Agency. Tool for Reduction and Assessment of Chemicals and Other Environmental Impacts (TRACI) 2015. <https://www.epa.gov/chemical-research/tool-reduction-and-assessment-chemicals-and-other-environmental-impacts-traci>.
- [114] Huijbregts MAJ. ReCiPe 2016: A harmonized life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level. 2016.
- [115] Microsoft Office 2019 | Microsoft 365 n.d. <https://www.microsoft.com/en-ww/microsoft-365/get-started-with-office-2019> (accessed August 14, 2021).
- [116] Eurostat. Statistiques sur les déchets 2017. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Archive:Statistiques_sur_les_d%C3%A9chets.
- [117] C2DS : Comité de développement durable en Santé n.d. <https://www.c2ds.eu/>.
- [118] Chang DF, Mamalis N. Guidelines for the cleaning and sterilization of intraocular surgical instruments: J Cataract Refract Surg 2018;44:765–73. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2018.05.001>.
- [119] Carbios - Innover pour une véritable économie circulaire des plastiques n.d. <https://www.carbios.com/fr/> (accessed August 31, 2021).
- [120] Tournier V, Topham CM, Gilles A, David B, Folgoas C, Moya-Leclair E, et al. An engineered PET depolymerase to break down and recycle plastic bottles. Nature 2020;580:216–9. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2149-4>.
- [121] Recyclage de 100% des déchets de bureau et destruction des papiers confidentiels: Elise n.d. <https://www.elise.com.fr/> (accessed September 1, 2021).

Annexes

MÉTHODES DE CALCUL :

Plusieurs formules sont utilisées pour calculer la quantité des produits ou services entrant dans un processus. Elles sont détaillées dans cette partie de l'annexe.

Détermination des masses :

La grande majorité des produits utilisés pour effectuer une IVT, que ce soit via le scénario 1, 2 ou 3, ont pu être récupérés. Pour chacun de ces produits, les matières ont été séparées et pesées à l'aide d'une balance micro précision ayant une limite de détection de 0,01 g. Lorsqu'un objet était composé de plusieurs matières, sans détail de la part relative de chacune de ces matières, nous avons divisé le poids de l'objet par le nombre de matières et reparti le poids selon ces matières. Ainsi un objet composé de polypropylène et de polyéthylène, nous avons considéré que 50% du poids de l'objet était en polypropylène et 50% en polyéthylène.

Détermination des volumes :

Pour certains produits, le volume d'une dose a dû être déterminé. Dans ce cas, le nombre de doses nécessaires au remplissage d'un volume de 50 ml a été compté, ce qui a ensuite permis de déduire le volume d'une dose.

Volume d'une dose = Volume des x doses / nombre de doses

Exemple : détermination du volume d'une dose de désinfectant pour surface haute

35 doses sont nécessaires pour remplir un volume de 50 ml.

Volume d'une dose = Volume des x doses / nombre de doses

$$= 50 / 35 = 0,7 \text{ ml}$$

Le volume d'une dose est de 0,7 ml.

Calcul de quantité d'énergie :

L'énergie nécessaire au fonctionnement d'un appareil a été calculée en multipliant la puissance de l'appareil par son temps d'utilisation.

Energie = Puissance x Temps

Exemple : Calcul de l'énergie nécessaire au fonctionnement d'un appareil.

La puissance de l'appareil est de 600W. Le temps d'utilisation est de 22,5 secondes.

Energie = Puissance X Distance / Vitesse

$$= 600 \times 22,5 = 13500 \text{ Ws} = 3,75 \text{ Wh}$$

L'énergie nécessaire à l'utilisation de l'appareil est de 3,75 Wh.

Calcul des transports :

L'unité de calcul des transports est en kgkm. 1 kgkm signifie qu'un objet de 1kg a été transporté sur une distance de 1km.

Quantité de transport = distance parcourue x poids du produit

Exemple : Quantité de transport de la bétadine depuis Mérignac jusqu'à Lille. Il y a 807 km entre Mérignac et Lille et la bétadine pèse 24,13 g avec son emballage.

Quantité de transport = distance parcourue x poids du produit

$$= 807 \times 0,02413 = 19,47 \text{ kgkm}$$

La quantité de transport pour la bétadine est de 19,47 kgkm.

Calcul de la stérilisation par autoclave :

La stérilisation par autoclave se fait avec une vapeur de 121°C. Le calcul ci-dessous permet de connaître la masse de vapeur correspondant à un volume d'1l de vapeur. La loi des gaz parfaits est utilisée avec M la masse molaire de l'eau égale à 18 g/mol ; P la pression égale à 105 Pascale ; V le volume de vapeur égal à 1l, soit 10^{-3} m^3 ; R est la constante des gaz parfaits égale à 8,312 et T est la température égale à 121°C, soit 394 Kelvin.

Masse = MPV/RT

$$= (18 \times 10^{-3} \times 10^{-3}) / (8,314 \times 394) = 0,53 \text{ g}$$

0,53 g de vapeur est nécessaire pour stériliser un volume de 1 litre.

Calcul de la stérilisation par oxyde d'éthylène :

Les concentrations d'oxydes d'éthylène pour stériliser les dispositifs médicaux sont comprises entre 400 et 1000 mg/l. La moyenne a été retenue, soit 700mg/l.

Il faut donc 0,7 g d'oxyde d'éthylène pour stériliser 1 litre de produit.

Calcul des volumes pour les stérilisations :

L'hypothèse est faite que le dispositif médical à stériliser est placé dans une étuve contenant d'autres dispositifs médicaux. Si l'utilisation de l'étuve est optimisée, le dispositif médical occupe donc un volume égal à sa largeur x sa longueur x son épaisseur. C'est ce volume qui est pris pour calculer le volume nécessaire à la stérilisation par oxyde d'éthylène et par autoclave. Pour la stérilisation aux rayons gamma, c'est la masse du produit et non son volume qui est pris en compte.

Exemple : calcul du volume nécessaire pour stériliser le sérum physiologique par autoclave

Volume du sérum physiologique = longueur x largeur x épaisseur

$$= 10 \times 5 \times 3 = 150 \text{ cm}^3$$

Il faut 150cm³ de vapeur pour stériliser le sérum physiologique.

AUTEUR : Nom : Momal

Prénom : Gabin

Date de Soutenance : 17/09/2021

Titre de la Thèse : Injections intravitréennes et développement durable

Thèse - Médecine - Lille 2021

Cadre de classement : Ophtalmologie

DES + spécialité : Ophtalmologie

Mots-clés : IVT, développement durable, environnement, impact environnemental, empreinte carbone, analyse de cycle de vie, déchets

Résumé :

Contexte : Le changement climatique en cours et à venir est un des principaux défis à relever pour l'Humanité. A l'échelle mondiale, les services de santé génèrent des émissions de gaz à effet de serre considérables. La part croissante du matériel à usage unique a également pour conséquence l'augmentation de la consommation de ressources et l'augmentation des déchets. L'objectif de cette étude est de déterminer l'impact environnemental d'une IVT, afin d'attirer l'attention des équipes, des industriels, des décideurs, et de réfléchir à des opportunités et des applications pratiques de réduction d'impact.

Matériel et Méthodes : Une analyse de cycle de vie hybride a été réalisée dans une structure publique et une structure privée afin de déterminer les émissions relatives à la réalisation d'une IVT dans plusieurs catégories d'impacts. Un audit des déchets a également été réalisé.

Résultats : En fonction du périmètre pris en compte, les émissions moyennes de gaz à effet de serre (GES) secondaire à la réalisation d'une IVT s'échelonnent de 1,92 à 169,1 kgeqCO₂. Une IVT génère en moyenne 434 grammes de déchets. Les objets non utilisés du pack IVT sur mesure sont responsables de 9,28% des émissions de GES et 4,20% du poids des déchets de l'acte, en moyenne, au sein des sites d'études. La modélisation d'une IVT écoconçue a permis de réduire de 37,75% des émissions de GES de l'acte.

Conclusion : Notre étude quantifie les émissions environnementales relatives à la réalisation d'une IVT, et identifie des stratégies de réduction d'impact. Les ophtalmologistes peuvent donc réduire la quantité de matériel utilisé, les émissions et les déchets des IVT en appliquant certains principes. A grande échelle ces stratégies pourraient avoir un impact significatif.

Composition du Jury :

Président : Monsieur le Professeur Jean-François ROULAND

Asseseurs : Monsieur le Professeur Pierre LABALETTE, Madame le Professeur Isabelle COCHEREAU

Directeur : Monsieur le Docteur Valentin BACHET

