



# UNIVERSITÉ DE LILLE

UFR3S-MÉDECINE

Année : 2025

## THÈSE POUR LE DIPLÔME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN MÉDECINE

**Etude EMPREINTE : réduction de l'impact environnemental de l'anesthésie, une comparaison des analyses en cycle de vie de l'anesthésie générale et de la rachianesthésie dans la prise en charge de l'abcès périanal**

Présentée et soutenue publiquement le 29 avril 2025 à 18h00  
au Pôle Recherche  
**par Julie FAURE**

---

### JURY

**Président :**

**Monsieur le Professeur Benoît TAVERNIER**

**Assesseurs :**

**Madame le Docteur Lydie OGE**

**Monsieur le Docteur Gabriel MASSON**

**Directeur de thèse :**

**Madame le Docteur Florence LALLEMANT**

---



## **AVERTISSEMENT**

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

## Listes des Abréviations

**ACV** : Analyse en Cycle de Vie

**AG** : Anesthésie Générale

**AINOC** : Anesthésie Inhalatoire à Objectif de Concentration

**AIVOC** : Anesthésie IntraVeineuse à Objectif de Concentration

**BGES** : Bilan de Gaz à Effet de Serre

**CHU** : Centre Hospitalo-Universitaire

**CO<sub>2</sub>** : Dioxyde de Carbone

**CO<sub>2</sub>eq** : équivalent CO<sub>2</sub>

**DAOM** : Déchets Assimilables aux Ordures Ménagères

**DASRI** : Déchets d'Activité de Soins à Risque Infectieux

**DM**: Dispositifs Médicaux

**eCRF**: electronic Case Report Form

**ESAIC**: European Society of Anaesthesiology and Intensive Care

**GES** : Gaz à Effet de Serre

**GIEC** : Groupement Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat

**GtCO<sub>2</sub>eq**: Gigatonnes Equivalent CO<sub>2</sub>

**GWP<sub>100</sub>**: Global Warming Potential sur 100 ans

**IOT** : Intubation Orotrachéale

**ISO** : International Organization for Standardization

**IV** : Intra-Veineuse

**ML** : Masque Laryngé

**NO<sub>2</sub>** : Protoxyde d'Azote

**O<sub>2</sub>** : Dioxygène

**OMS** : Organisation Mondiale de la Santé

**PEF** : Product Environmental Footprint

**PNN** : Primum Non Nocere

**PVC** : Polyvinyle Chlorure

**RA** : Rachianesthésie

**SFAR** : Société Française d'Anesthésie-Réanimation

**SSPI** : Salle de Surveillance Post-Interventionnelle

**TIVA** : Total IntraVeinouse Anaesthesia

**UM** : Usage Multiple

**UU** : Usage Unique

# Table des Matières

AVERTISSEMENT .....	3
Remerciements.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Listes des Abréviations .....	4
Table des Matières.....	6
Introduction.....	9
I. Réchauffement climatique et conséquences sur la santé humaine .....	10
II. Le poids du système de santé dans le réchauffement climatique.....	15
III. Etat de la science sur les recherches menées dans le domaine de l'anesthésie .....	18
IV. Recommandations de bonnes pratiques.....	21
V. Efficacité et sécurité de la rachianesthésie dans la chirurgie périanale .....	21
Matériel et Méthodes .....	24
I. Matériel .....	24
A. Objectifs et design de l'étude .....	24
B. Effectifs .....	25
C. Critères d'inclusion et de non inclusion .....	25
D. Considérations règlementaires.....	26
II. Méthode : Analyse en cycle de vie : description de la méthode et application à l'étude	
EMPREINTE .....	27
A. Généralités sur l'ACV.....	27
1. Qu'est-ce-que l'analyse en cycle de vie ?.....	27
2. Etapes d'une analyse en cycle de vie.....	28
3. Indicateurs résultants de l'ACV .....	29
B. Application à notre analyse en cycle de vie .....	31
1. Réalisation et financement.....	31
2. Unité fonctionnelle et définition du périmètre .....	31
3. Réalisation de l'Inventaire en Cycle de vie : .....	32
a. Recueil de données : mode et type .....	32
b. Origine des données pour la réalisation de l'inventaire de cycle de vie .....	33
4. Modélisation de l'ACV.....	34
5. Mode de sélection des impacts les plus significatifs .....	35
Résultats .....	36
I. Données Descriptives .....	36
A. Données démographiques .....	36
B. Caractéristiques des interventions étudiées .....	36

II.	Inventaires des flux pour la réalisation de l'ACV.....	37
A.	Inventaire des dispositifs médicaux.....	37
1.	Habillage et Installation.....	37
2.	Préparation du matériel.....	37
3.	Pré-oxygénation et gestion des voies aériennes.....	38
4.	Réveil de l'anesthésie.....	38
5.	Précisions sur les caractéristiques des DM.....	41
B.	Inventaire des médicaments.....	42
C.	Inventaire des appareils biomédicaux et des déchets.....	44
III.	Indentification des principaux indicateurs environnementaux.....	45
IV.	Résultats de l'ACV : comparaison des impacts environnementaux selon les deux techniques d'anesthésie.....	46
A.	Comparaison pour une intervention.....	46
B.	Comparaison rapportée au nombre d'intervention réalisée annuellement.....	47
V.	Résultats de l'ACV : étude d'impact selon la technique d'anesthésie.....	50
A.	Etude des impacts de l'anesthésie générale.....	51
1.	Répartition des impacts selon les étapes de l'AG.....	51
2.	Description des étapes de l'AG les plus impactantes.....	52
a.	Entretien de l'anesthésie.....	53
b.	Gestion des voies aériennes.....	54
c.	Réveil de l'anesthésie générale.....	57
B.	Etude des impacts de la rachianesthésie.....	58
1.	Répartition des impacts selon les étapes :.....	58
2.	Description des étapes de la RA les plus impactantes.....	59
a.	Installation du Patient.....	60
b.	Préparation du matériel.....	61
c.	Habillage du patient.....	62
	Discussion.....	63
I.	Rappels des principaux résultats.....	63
II.	Forces et limites de l'étude et de la méthodologie.....	64
A.	Forces :.....	64
B.	Limites.....	65
1.	Manque de puissance : défaut d'inclusion dans le groupe RA.....	65
2.	Manque de données pour le calcul des impacts des médicaments et des DM.....	65
3.	Inventaires des données : certaines ont été mesurées (bottom-up) d'autres extrapolés (top-down).....	66

4.	Incertitude et méthode d'identification des impacts significatifs .....	66
5.	Limites liées à la méthode .....	67
III.	Discussion des résultats.....	67
IV.	Démarche d'écoconception des soins : pistes pour réduire l'impact de l'anesthésie .....	69
A.	Choix de la technique d'anesthésie .....	69
B.	Focus sur le Sevoflurane .....	69
C.	Choix des dispositifs médicaux.....	71
1.	Lame de laryngoscope .....	71
2.	Masque laryngé .....	71
3.	Textile au bloc opératoire .....	72
D.	Plastiques et Déchets .....	72
V.	Autres impacts analysés .....	73
VI.	Suites donner à notre étude.....	74
	Conclusion .....	75
	Bibliographie.....	76
	Tables des Tableaux .....	83
	Tables des Figures.....	84
	Annexes .....	85
I.	eCRF AG .....	85
II.	eCRF RA .....	87
III.	Résultats de l'inventaire des flux étape par étape pour l'AG.....	89
IV.	Résultats de l'inventaire des flux étape par étape pour la RA.....	92

# Introduction

Le monde de la santé se préoccupe de plus en plus de l'impact environnemental de son activité, avec une prise de conscience qui a commencé dans le domaine de l'anesthésie il y a plus de 10 ans. Les travaux sur les impacts des procédures et des dispositifs médicaux utilisés se sont multipliés au rythme de l'évolution des connaissances et de la prise de conscience des enjeux.

Nous allons évoquer ici la réalité du changement climatique et ses conséquences sur la santé humaine, qui justifient l'étude des impacts environnementaux du système de santé et plus particulièrement de ceux de la pratique de l'anesthésie. C'est dans cet objectif que nous avons étudié les impacts environnementaux de deux procédures d'anesthésie fréquentes dans le cadre de la chirurgie ambulatoire, afin d'identifier les moyens de les réduire.

## I. Réchauffement climatique et conséquences sur la santé humaine

Selon le dernier rapport du Groupement Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC) publié en 2023, la température moyenne de la surface de la planète a augmenté de  $1.1^{\circ}\text{C}$ <sup>1</sup> sur la période comprise entre 2011 et 2020 par rapport à la période précédant l'accélération de la Révolution Industrielle (1850-1900)(Figure 1).

L'année 2024<sup>2</sup> est l'année où la température moyenne a été la plus importante jamais enregistrée, dépassant pour la première fois le seuil de  $1.5^{\circ}\text{C}$

d'augmentation. Il est démontré que cette hausse significative des températures est liée aux activités humaines qui sont responsables de l'augmentation des quantités de gaz à effets de serre (GES) émises dans l'atmosphère, principalement à cause de la combustion des énergies fossiles (gaz, pétrole et charbon). Un gaz à effet de serre<sup>3</sup> (dioxyde de carbone, méthane, protoxyde d'azote, hydrofluorocarbure, hydrocarbure perfluoré et l'hexafluorure de soufre) a la propriété d'absorber une partie de l'énergie reçue par le soleil, permettant ainsi de réchauffer la température de l'atmosphère terrestre. L'augmentation significative des concentrations de GES a donc un impact sur le climat en provoquant son réchauffement.

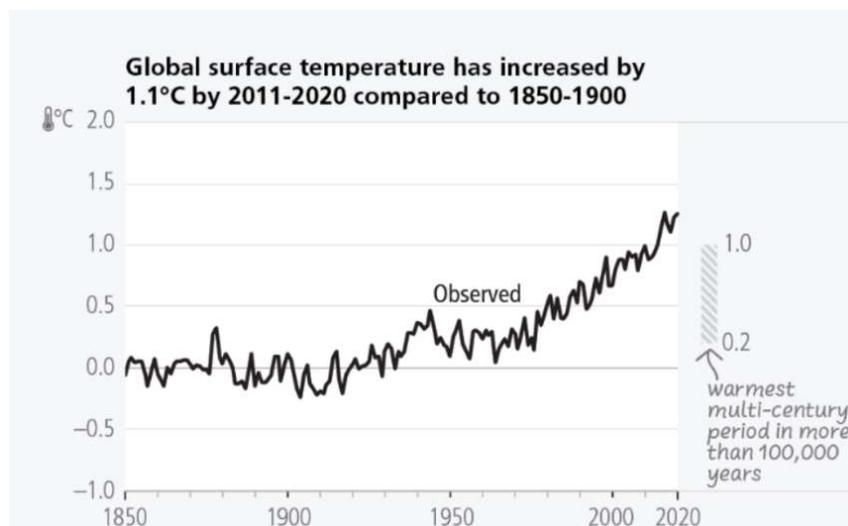


Figure 1: Courbe de la température de la surface de la Terre. Source : 6<sup>ème</sup> rapport du GIEC

L'accord de Paris<sup>4</sup> conclu en 2015 et signé par 196 pays insiste sur la nécessité de réduire les émissions de GES pour limiter le réchauffement climatique. En France<sup>5</sup>, l'objectif national serait de réduire les émissions de 40 % par rapport à celles de 1990 à l'horizon 2030, et l'Union Européenne s'est engagée à atteindre la neutralité carbone d'ici 2050 dans la loi pour le climat<sup>6</sup> adoptée en 2021.

Le réchauffement climatique est considéré par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) comme la principale menace actuelle pour la santé humaine.

Les liens entre crise climatique et crise sanitaire sont multiples et complexes, tandis que les investigations scientifiques les concernant gagnent en visibilité et en financement. Le *Lancet* publie chaque année depuis 2015 un article<sup>7</sup> intitulé « Countdown » établissant un état des lieux des indicateurs qui reflètent l'impact du réchauffement climatique sur la santé humaine ainsi que les actions mises en place pour en atténuer les effets.

Parmi les nombreux risques sanitaires engendrés par le réchauffement climatique, le *Lancet* évoque entre autres : (*Figure 2*)

- Une augmentation significative du nombre et de la durée de l'exposition aux vagues de chaleur<sup>8</sup>, qui est directement responsable d'une sur-mortalité<sup>9</sup> des populations les plus fragiles, à savoir principalement les plus de 75 ans<sup>10</sup> et les enfants de moins de 1 an, les causes en étant dominées par une surmortalité cardio-vasculaire<sup>11</sup>, pulmonaire et rénale.

- L'augmentation du nombre, de la durée et de l'intensité des événements climatiques extrêmes<sup>1</sup> (vague de chaleur, sécheresses, inondations, incendies...), qui menacent directement la vie des humains ainsi que la sécurité de la ressource en eau potable et de la production alimentaire, augmentant les risques de malnutrition et d'insécurité alimentaire<sup>12</sup>. Ces événements peuvent aussi impacter directement le système de santé, en détruisant les bâtiments ou en menaçant l'approvisionnement électrique, en eau ou en médicaments, et réduisant ainsi les capacités de réponse à la demande en soins d'urgence.
- Le changement climatique provoque également un risque accru de transmission de certains pathogènes<sup>13</sup>, comme la dengue, le paludisme ou le choléra, à travers une augmentation des conditions favorables de transmission et de reproduction des vecteurs de ces pathogènes et une sécurité moindre des ressources en eau.
- Il porte également atteinte à la santé mentale<sup>14</sup> des populations, en induisant des effets directs comme l'apparition d'un syndrome de stress post-traumatique après avoir été témoin d'une catastrophe naturelle, ou des effets indirects à plus long terme comme l'apparition ou l'aggravation d'une dépression, d'insomnies ou encore d'addictions.

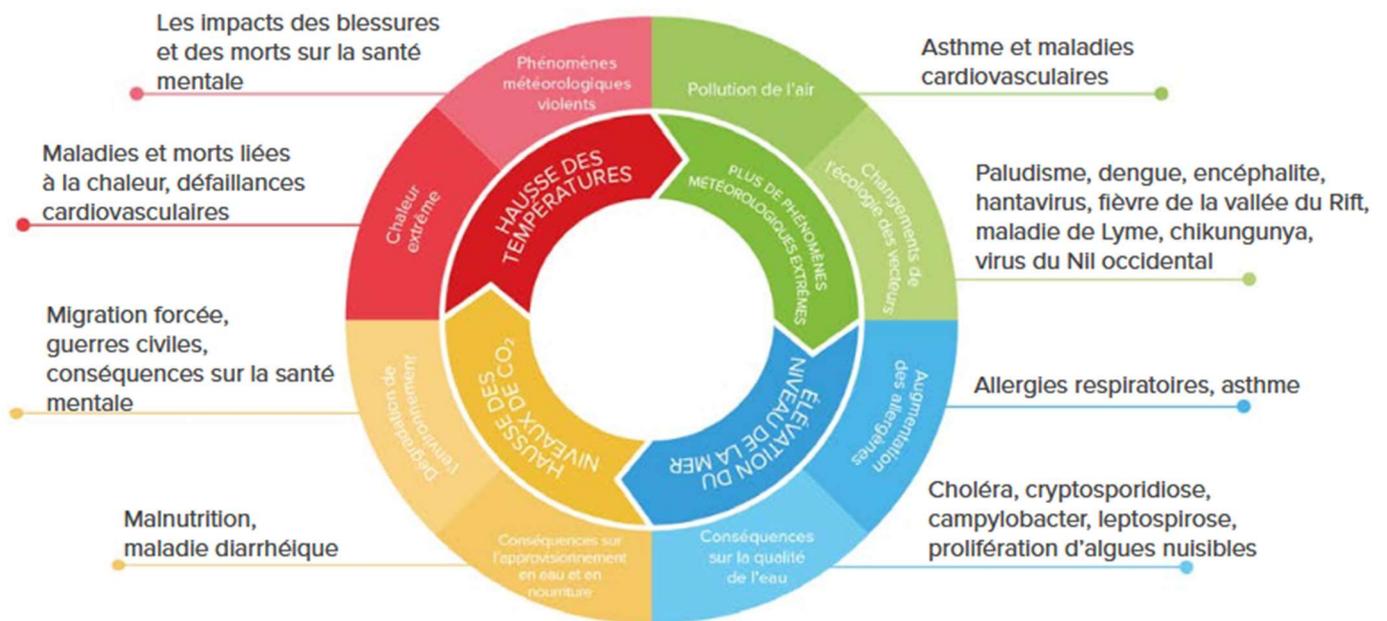


Figure 2 : Conséquences du réchauffement climatique sur la santé humaine.  
Source : Center For Disease Control

Au cours des 50 dernières<sup>15</sup> années, les catastrophes liées au climat et en particulier aux inondations ont causé la mort de 160000 personnes et près de 500 milliards de dollars de pertes économiques.

Dans une étude publiée en 2014<sup>16</sup>, l'OMS établit différents scénarios prenant en compte les projections de diminution de la production de GES et la croissance socio-économique. L'excès de mortalité lié aux causes précédemment décrites pourrait atteindre 250000 personnes par an entre 2030 et 2050. Actuellement 3.6 milliards de personnes vivraient dans des zones à risques climatiques, soit presque la moitié de la population mondiale.

Ces conséquences néfastes pour la santé humaine sont multiples et multifactorielles, mais elles impactent de façon démesurée les pays les moins favorisés, avec les systèmes de santé les moins résilients, alors que ce sont souvent les plus faibles contributeurs au réchauffement climatique<sup>1</sup>.

Le changement climatique représente une grave menace sanitaire, et on peut donc considérer que mettre en place des mesures visant à diminuer les émissions de gaz à effet de serre, à atténuer ses conséquences ou à s'y adapter apparait comme un impératif de santé publique. Les mesures mises en place pour réduire drastiquement les émissions de gaz à effet de serre doivent s'accompagner de mesures visant à évaluer et à optimiser la résilience des systèmes de santé afin de s'adapter aux évolutions climatiques et épidémiologiques. C'est pour cela que l'OMS demande à ce que les questions de santé soient incluses<sup>17</sup> dans les négociations internationales et les plans d'action portant sur le climat, et qu'elle a rédigé un document établissant un cadre opérationnel<sup>18</sup> pour renforcer la résilience sanitaire.

## II. Le poids du système de santé dans le réchauffement climatique

Devant l'impact du réchauffement climatique sur la santé humaine, il paraît indispensable de s'intéresser à la participation du système de santé au réchauffement climatique.

Le Shift Project est un cercle de réflexion français sur la transition écologique qui constitue des groupes de travail pour en étudier les enjeux décisifs et produire des recommandations. Selon leur dernier rapport<sup>19</sup> publié en avril 2023, les émissions de gaz à effet de serre du secteur médico-social en France étaient estimées à 49 MtCO<sub>2e</sub> (million de tonnes d'équivalent CO<sub>2</sub>), avec un intervalle de confiance à 95 % entre 40 et 61 MtCO<sub>2e</sub>, soit entre 6.6 % et 10 % du bilan de gaz à effet de serre total de la France (Figure 3). L'unité utilisée ici, l'équivalent CO<sub>2</sub>, représente le potentiel de réchauffement d'un gaz à effet de serre avec le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) comme référence. Cela permet d'effectuer des comparaisons entre les gaz ou de les réunir dans un bilan de gaz à effet de serre (BGES).

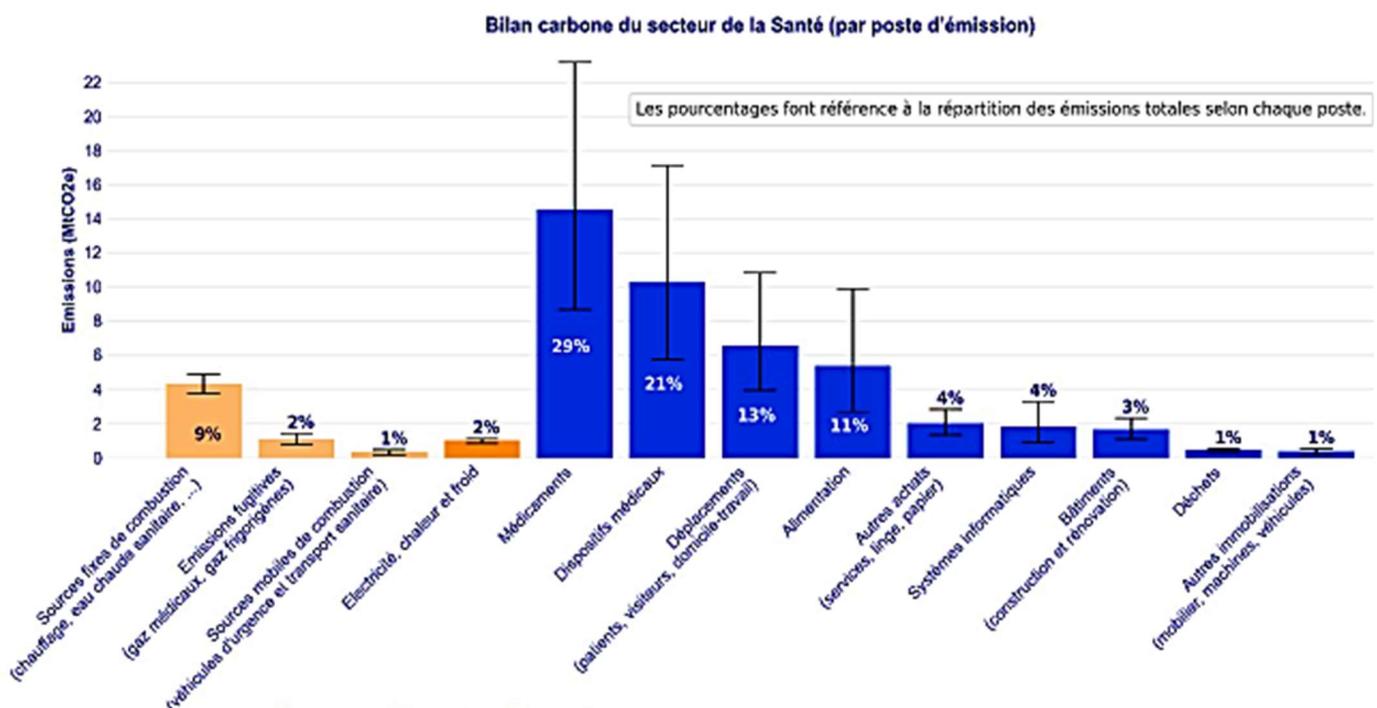


Figure 3 : Répartition des émissions du secteur de santé en France (en MtCO<sub>2</sub>)  
Source : The Shift Project

Les chiffres variant selon les pays, les méthodes de calcul et les années étudiées, il faut retenir qu'au niveau international, en 2014<sup>20</sup> les émissions de GES du secteur de la santé mondial représentent 4.4 % des émissions globales, soit 2 GtCO<sub>2</sub>e<sup>21</sup> (Giga tonnes d'équivalent CO<sub>2</sub>). Si le système de santé international était un pays, il pointerait au 5<sup>e</sup> rang des principaux émetteurs de GES. La quantité de GES moyenne émise par habitant et la proportion du BGES global varient selon les pays ( *Figure 4*), en fonction du niveau de développement.

Country	HCF (Mt)	HCF/cap (tCO <sub>2</sub> /cap)	Share of CF (%)				
AUS	19.5	0.83	4.2	JPN	114.9	0.9	7.6
AUT	6.8	0.8	6.7	KOR	33.1	0.65	5.3
BEL	7.5	0.66	7.7	LUX	0.7	1.24	3.6
CAN	29.7	0.83	5.1	LVA	0.5	0.26	3.9
CHE	5.9	0.73	5.9	MEX	16.6	0.13	3.3
CHN	600.6	0.44	6.6	NLD	15.8	0.93	8.1
CZE	4.8	0.46	4.5	NOR	3.6	0.7	4.7
DEU	55.1	0.68	6.7	POL	17.4	0.46	5.7
DNK	4	0.71	6.4	PRT	4	0.38	6
ESP	19.2	0.41	5.5	SVK	4.1	0.75	6.7
EST	1.2	0.88	5.2	SVN	0.7	0.35	4
FIN	3.9	0.72	5.3	SWE	4.1	0.42	4.5
FRA	34.4	0.52	6.9	TUR	17.8	0.23	3.9
GBR	41.1	0.64	5.9	USA	479.7	1.51	7.9
GRC	4.2	0.39	3.8	ISR (2013)	3.5	0.43	4.4
HUN	2.9	0.29	5.4	NZL (2007)	1.8	0.42	4.1
IND	74.1	0.06	3.5				
IRL	3.1	0.68	6.7				
ISL	0.2	0.61	4.7				
ITA	23.1	0.38	5.1				

*Figure 4 : Empreinte carbone du système de santé (HCF) en 2014, en valeur absolue, en tonnes de CO<sub>2</sub> par habitant et en pourcentage de l'empreinte carbone du pays. Source : International comparison of health care carbon footprints*

Au-delà de la production de GES participant directement au réchauffement climatique, le système de santé international est également responsable de la production<sup>22</sup> de particules fines (PM<sub>2.5</sub>), de polluants atmosphériques (oxyde d'azote, dioxyde de soufre...), de pollution de l'eau et des sols, qui sont liés

épidémiologiquement à l'apparition de maladies chroniques (maladies cardio-vasculaires, cancers et maladies respiratoires) responsables d'un excès de mortalité précoce.

Selon le rapport du Shift Project, l'hôpital représente 38 % des émissions de GES du système de santé français. Il n'y a pas d'estimation chiffrée sur le poids du bloc opératoire sur les émissions de GES de l'hôpital.

Ce dernier a été analysé en Amérique du Nord et en Angleterre<sup>23</sup>, dans une étude qui souligne que le poids du bloc opératoire est effectivement important. Les principaux postes d'émissions de GES retrouvés sont l'utilisation de gaz anesthésiant, la production de l'énergie consommée par la ventilation, l'éclairage et le fonctionnement des différents appareils d'anesthésie et de chirurgie ainsi que toutes les émissions associées à la chaîne d'approvisionnement du matériel à usage unique et des médicaments. Cet impact environnemental est certes important mais cela signifie que le potentiel de réduction l'est tout autant. Tous les efforts pour le réduire de façon significative comptent d'autant plus.

Quelques soit les chiffres, l'impact du système de santé sur le réchauffement climatique est loin d'être négligeable. Cela semble aller à l'encontre de l'un des principes de base des soignants, à savoir que la première chose est de ne pas nuire : le système de santé participe activement bien qu'involontairement à aggraver le réchauffement climatique et l'émission de divers polluants. Dans le même temps, le système de santé doit traiter une partie des conséquences de ce réchauffement climatique avec son impact sur la santé humaine, aggravant d'autant plus le problème et entrant dans un cercle vicieux.

Les soignants et le système de santé ont donc une responsabilité éthique et déontologique<sup>24</sup> qui est de s'interroger sur l'impact de leurs pratiques médicales quotidiennes, pour participer à la réduction de l'impact environnemental du système et au renforcement de sa résilience. Il s'agit d'un impératif relatif à la promotion de la santé dans toutes ses formes, et à la préservation du système de santé pour assurer la prise en charge préventive et curative des patients actuels et futurs. Inscrire le système de santé dans une trajectoire durable permet également de participer à la transition écologique plus globale de la société et respecter les engagements pris lors des accords de Paris en 2015, en lien avec la feuille de route sur la planification écologique<sup>25</sup> du système de santé, établie en mai 2023 par le Ministère de la Santé.

### **III. Etat de la science sur les recherches menées dans le domaine de l'anesthésie**

Depuis plusieurs années, un nombre grandissant d'études s'intéressent à l'impact environnemental des pratiques en anesthésie.

Ainsi depuis plus de 10 ans nous savons que les gaz anesthésiants utilisés en routine clinique sont des gaz à effets de serre<sup>26</sup> : le potentiel de réchauffement global sur 100 ans (Global Warming Potential ou GWP<sub>100</sub>) du desflurane représente 2540<sup>27</sup> fois celui du CO<sub>2</sub>, et celui du sevoflurane 130 fois celui du CO<sub>2</sub>. L'impact du desflurane est donc 20 fois<sup>28</sup> supérieur à celui du sevoflurane. A titre d'exemple, 1h d'anesthésie générale par desflurane<sup>29</sup> représente l'équivalent de 320 kilomètres parcourus par une voiture, et 1h d'anesthésie générale par sevoflurane autour de 6.5 kilomètres.

Le protoxyde d'azote (NO<sub>2</sub>) présente un GWP<sub>100</sub> 265 fois supérieur à celui du CO<sub>2</sub> : en plus de son effet de serre, ce gaz présente également un effet de déplétion<sup>30</sup> de la

couche d'ozone. Cette dernière est indispensable pour absorber une partie des rayons ultraviolets émis par le soleil et donc réduire le risque de cancer cutané.

Une grande majorité (> 95 %) des gaz anesthésiants administrés sont rejetés dans l'atmosphère parce qu'ils ne sont pas métabolisés par les patients.

L'alternative à l'anesthésie générale inhalatoire, à savoir l'anesthésie par voie intraveineuse, pourrait présenter un intérêt : l'impact du propofol en terme de production de CO<sub>2</sub> semble plus faible<sup>31</sup> que celui des halogénés, même en prenant en compte les dispositifs à usage unique et l'énergie supplémentaire consommée. Mais il y a quelques réserves : jusqu'à 23% du propofol préparé au bloc opératoire serait jeté<sup>32</sup>, en grande partie (60%) dans la poubelle des déchets assimilables aux ordures ménagères (DAOM), alors qu'il devrait être jeté dans les Déchets d'Activité de Soins à Risque Infectieux (DASRI), pour être détruit. Cela conduit à l'apparition de ce médicament dans le milieu naturel, or il présente une certaine écotoxicité<sup>33</sup> notamment pour le milieu aquatique. Les conséquences potentielles sur l'environnement d'une transition vers l'anesthésie par voie intraveineuse ne sont pas encore pleinement explorées. La SFAR n'a pas émis de recommandation sur la méthode à privilégier pour l'entretien de l'AG, en revanche elle préconise l'utilisation de l'anesthésie loco-régionale quand c'est possible, mais il existe peu d'études sur l'impact environnemental de cette dernière.

Parmi les études qui cherchent à comparer l'impact environnemental de différentes modalités d'anesthésie, on peut notamment évoquer 2 travaux.

Le premier est une étude publiée en 2022<sup>34</sup> qui a cherché à établir le bilan de gaz à effet de serre (BGES) comparatif de la rachianesthésie et de l'anesthésie générale dans la fusion intersomatique lombaire transforaminale. Cette étude rétrospective a

inclus 100 patients du même chirurgien aux Etats-Unis, avec une répartition égale entre les deux groupes. Cette analyse ne concerne que les médicaments utilisés pour réaliser l'anesthésie. Les résultats retrouvent une différence significative avec un BGES médian de 4725 g CO<sub>2</sub>eq pour l'anesthésie générale (AG) et de 70g CO<sub>2</sub>eq pour la rachianesthésie (RA). Cette étude a un périmètre particulièrement restreint, ne considérant que les médicaments ; par ailleurs, pour 6 des 50 anesthésies générales, du desflurane a été utilisé, et dans 29 des 50 AG, du protoxyde d'azote était administré. Il n'y a pas eu de précision concernant l'utilisation d'anesthésie à objectif de concentration (AINOC).

Une étude Australienne<sup>35</sup> réalisée en 2019 compare de façon prospective, avec 10 patients dans chaque groupe, la pratique de l'anesthésie générale, de la rachianesthésie ou d'une combinaison des deux pour la mise en place d'une prothèse totale de genou. Il n'y a pas de différence significative entre les bilans de gaz à effet de serre des trois groupes. Néanmoins il existe des différences de pratique rendant la généralisation au contexte local plus difficile : la sédation était systématique pour la rachianesthésie, une partie du matériel est re-stérilisable (notamment les blouses stériles et les champs), le débit d'oxygène de la ventilation était de 10L par minute et surtout l'électricité est produite à partir de la combustion de charbon. Les résultats obtenus auraient été très différents en Europe.

Ces études comparatives ne s'intéressent qu'au Bilan de Gaz à effet de serre et les résultats sont discordants. A notre connaissance, il n'existe pas d'étude qui comparerait plusieurs méthodes d'anesthésie pour la même chirurgie en utilisant la méthode de l'analyse en cycle de vie.

#### **IV. Recommandations de bonnes pratiques**

Ces constats ont conduit à l'édition de recommandations de bonnes pratiques par la plupart des sociétés savantes d'anesthésie occidentales<sup>36-39</sup> (Société Française d'Anesthésie Réanimation [SFAR], American Society of Anaesthesiologists [ASA], Australian and New Zealand College of Anaesthetists [ANZCA], European Society of Anaesthesiology and Intensive Care [ESAIC]) concernant la réduction de l'impact environnemental de l'anesthésie. Elles préconisent notamment de remplacer le desflurane par le sevoflurane, de limiter au minimum la quantité de gaz frais délivré en utilisant par exemple les modes d'anesthésie à objectif de concentration quand ils sont disponibles et le monitoring de la profondeur de l'anesthésie.

Elles recommandent d'utiliser des techniques d'anesthésie loco-régionales quand cela est possible. Il est également recommandé de d'éviter l'usage du protoxyde d'azote et même de démonter les cadres d'alimentation du NO<sub>2</sub>, car ils sont à l'origine de fuites<sup>40</sup> loin d'être négligeables même sans être utilisés.

#### **V. Efficacité et sécurité de la rachianesthésie dans la chirurgie périanale**

Le changement des pratiques anesthésiques dans l'optique de réduire son impact environnemental ne peut pas s'envisager au détriment de la sécurité et de la qualité des soins.

Dans le cadre de la chirurgie périanale, plusieurs techniques d'anesthésie sont envisageables : l'anesthésie générale, la rachianesthésie et même l'anesthésie locale avec ou sans sédation.

Il existe des études comparatives<sup>41</sup> randomisées<sup>42</sup> concernant la pratique de l'anesthésie générale (par voie intra-veineuse exclusive) et de la rachianesthésie

dans la chirurgie périanale. Cette dernière était pratiquée en utilisant la technique du saddle-block<sup>43</sup>, c'est-à-dire une injection unique en intrathécal d'une faible dose d'anesthésique local hyperbare (5 mg de bupivacaïne).

Ces études retrouvent une qualité de l'anesthésie comparable, même en cas de chirurgie se déroulant en décubitus ventral, sans conséquence significative sur les durées opératoires.

Il n'y a pas plus de complications dans le groupe rachianesthésie, notamment concernant les nausées et vomissements post-opératoire ou l'hypotension artérielle. Il y a également une tendance significative à une consommation moindre d'antalgiques en salle de réveil, et dans les 24h suivant l'intervention dans le groupe rachianesthésie. Il n'y a pas de différence significative dans la durée entre l'anesthésie et la reprise mictionnelle, ni avec le premier lever.

La satisfaction des patients concernant la technique utilisée est comparable, les patients randomisés dans le groupe rachianesthésie estimant même que c'était mieux qu'attendu.

Dans ces études il faut néanmoins noter que 40 % des patients ont reçu une sédation en plus de la rachianesthésie avec en moyenne 96 mg de propofol injecté.

La pratique de la rachianesthésie est compatible avec la chirurgie ambulatoire<sup>44</sup> : il n'y a pas plus d'hypotension à l'induction, les complications de la techniques sont rares et les facteurs de risque pour la rétention aiguë d'urine sont bien identifiés, permettant la mise en place de protocoles adaptés à sa prise en charge, même dans un contexte ambulatoire.

Suite aux recommandations de la SFAR et de l'ESAIC de privilégier l'anesthésie loco-régionale quand c'est possible et devant le manque de données sur l'impact environnemental de cette technique, nous avons souhaité étudier les gains environnementaux potentiels de cette pratique en la comparant à l'anesthésie générale inhalatoire, en utilisant la méthode de l'analyse en cycle de vie.

Le choix s'est porté sur une comparaison entre l'anesthésie générale et la rachianesthésie parce que la bibliographie permet d'affirmer que ces deux techniques sont comparables en termes de qualité, de sécurité et de confort pour le patient dans le cas de la chirurgie périanale.

Cette étude a pour objectif de produire une comparaison robuste de la mesure de l'impact environnemental de l'anesthésie générale et de la rachianesthésie, en utilisant une méthode scientifique de référence pour pouvoir apporter des éléments concrets qui permettraient d'informer le choix de la technique d'anesthésie lorsque les deux méthodes sont envisageables, en considérant alors le critère écologique. Elle pourrait également permettre de fournir des pistes d'amélioration de l'impact environnemental de l'anesthésie en identifiant les étapes présentant le plus haut potentiel de réduction.

# Matériel et Méthodes

## I. Matériel

### A. Objectifs et design de l'étude

L'objectif principal de l'étude EMPREINTE est d'établir une comparaison des impacts environnementaux relatifs à l'anesthésie générale (AG) et la rachianesthésie (RA) réalisées dans le cadre de la prise en charge ambulatoire d'une chirurgie périanale en utilisant la méthode de l'analyse en cycle de vie (ACV) pour déterminer la technique la moins impactante sur l'environnement.

Les objectifs secondaires sont l'identification des actions d'écoconception envisageables à travers l'analyse détaillée de l'ACV de chaque méthode d'anesthésie, ainsi que la comparaison des impacts environnementaux de l'intubation et de l'utilisation d'un masque laryngé pour la gestion des voies aériennes.

La première partie de la collecte de données a été effectuée en menant une étude prospective observationnelle monocentrique, au bloc opératoire des urgences du CHU de Lille entre le 2 mai 2024 et le 31 octobre 2024.

Il n'y avait pas de randomisation sur le choix de la technique d'anesthésie, et l'étude s'apparente à une évaluation des pratiques professionnelles.

Au CHU de Lille la chirurgie périanale urgente se déroule dans un circuit ambulatoire. Les patients consultent aux urgences où l'indication chirurgicale est décidée. Ils sont ensuite vus en consultation d'anesthésie puis sont soit pris en charge au bloc opératoire s'ils sont à jeun et que l'intervention peut être intégrée dans le programme des urgences, soit reconvoqués pour le lendemain. La chirurgie a alors généralement lieu le matin, permettant une sortie dans les heures suivant la fin de l'intervention, s'il

n'y a pas eu de complications et si le patient remplit les critères autorisant le retour à domicile.

Le choix s'est porté sur la chirurgie périanale car c'est une opération fréquente dont la prise en charge à Lille se déroule exclusivement au bloc opératoire des urgences du CHU. Sur le plan anesthésique, deux techniques sont pratiquées, à savoir l'anesthésie générale et la rachianesthésie.

### **B. Effectifs**

L'objectif du nombre de patients à inclure est d'une dizaine de patients par groupe.

Nous nous sommes référés pour le définir aux études précédemment réalisées sur la comparaison de l'impact environnemental de plusieurs techniques d'anesthésie.

### **C. Critères d'inclusion et de non inclusion**

Pour être inclus dans l'étude il fallait remplir les critères suivants :

- Adulte
- Prise en charge au bloc opératoire des urgences du CHU de Lille pour un abcès périanal (kyste pilonidal, abcès de marge anale)
- Non opposition au recueil des données

Les critères de non inclusion étaient les suivants :

- Age < 18 ans
- Femme enceinte
- Contre-indication à la réalisation d'une anesthésie générale ou d'une rachianesthésie
- Opposition au recueil des données

#### **D. Considérations réglementaires**

Conformément à la réglementation en vigueur, l'étude a été classée comme ne portant pas sur le sujet humain. Il n'y a donc pas de nécessité d'un accord provenant d'un Comité de Protection des Personnes.

L'étude a été déclarée auprès du Département des Ressources Numériques du CHU de Lille et intégrée dans le registre des traitements de ce même établissement le 18 octobre 2023.

La non-opposition des patients a été recueillie au moment de leur inclusion dans l'étude. Il leur était également remis une fiche d'informations décrivant les objectifs de l'étude et le devenir des données collectées.

## II. Méthode : Analyse en cycle de vie : description de la méthode et application à l'étude EMPREINTE

### A. Généralités sur l'ACV

#### 1. Qu'est-ce-que l'analyse en cycle de vie ?

Il existe plusieurs méthodes pour évaluer un impact environnemental. Nous avons choisi d'utiliser la méthode de l'analyse en cycle de vie (ACV) qui cherche à étudier plusieurs types d'impacts environnementaux en s'intéressant à l'ensemble du parcours de la vie d'un produit ou d'un service, du berceau à la tombe, (*Cradle to Grave*). Le cycle de vie comporte 5 étapes essentielles : l'extraction de la matière première, la fabrication, le transport, l'utilisation et l'élimination en tant que déchet (Figure 5).

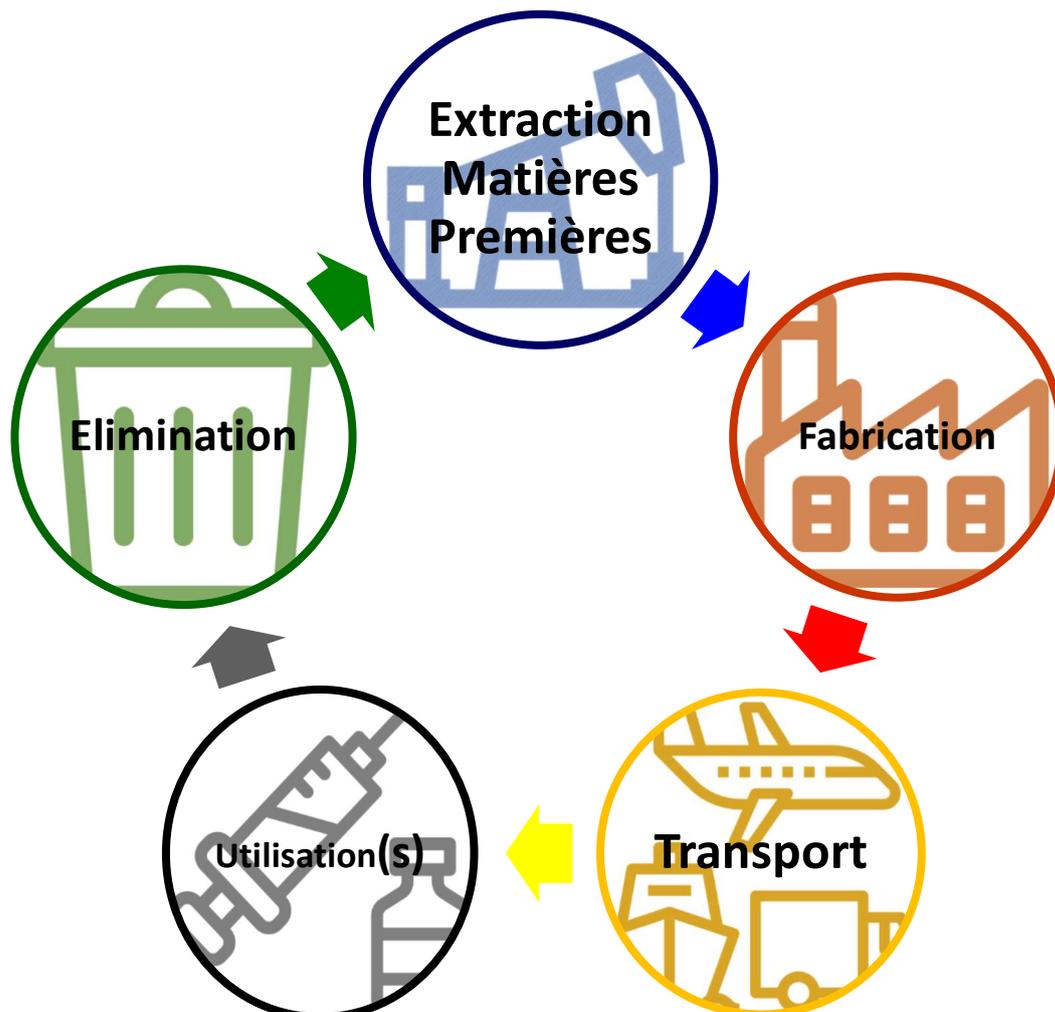


Figure 5 : Cycle de vie d'un produit

Cette méthode est standardisée et elle répond à des normes internationales : ISO 14040<sup>45</sup> et ISO 14044<sup>46</sup>.

Il s'agit d'une méthode scientifique de référence, qui est utilisée dans de nombreux domaines bien au-delà du secteur de la santé, pour établir ou comparer les empreintes environnementales de produit(s) ou de service(s). Une fois les résultats obtenus, ils permettent de s'engager dans des démarches d'éco-conception, en identifiant les axes d'améliorations de l'impact environnemental.

## **2. Etapes d'une analyse en cycle de vie**

La première étape d'une ACV consiste à établir l'unité fonctionnelle et le périmètre de l'étude. L'unité fonctionnelle « définit les aspects qualitatifs et quantitatifs de la fonctions et/ou du service fourni par le produit évalué, en répondant aux questions : «quoi ?», «combien ?», «comment ?» et «combien de temps ?» ». Le périmètre de l'étude permet de définir les limites du système étudié et les règles de coupure, c'est-à-dire l'ensemble des éléments écartés de ce périmètre.

Une fois les objectifs définis il faut ensuite réaliser un inventaire en cycle de vie, c'est-à-dire analyser et quantifier les flux entrants et sortants (matières et énergies) nécessaires à la réalisation de l'unité fonctionnelle, et à définir les règles d'allocation, qui permettent notamment d'attribuer seulement le pourcentage du cycle de vie d'un dispositif nécessaire à la réalisation de l'unité fonctionnelle quand il n'est pas à usage unique. Par exemple, si on considère qu'une tenue en tissu réutilisable a une durée de vie de 50 lavages, alors la règle d'allocation permet de ne prendre en compte qu' $1/50^{\text{ème}}$  du cycle de vie total de cette tenue pour la réalisation de l'unité fonctionnelle.

Une fois les données collectées, l'analyse est modélisée en utilisant un logiciel spécifique, qui permet en accédant à des bases de données internationales de référence de calculer les impacts chiffrés des différents indicateurs.

### 3. Indicateurs résultants de l'ACV

L'ACV permet d'explorer plusieurs aspects de l'empreinte environnementale à travers 16 impacts (midpoints), réunis en 4 catégories (endpoints) (Figure 6) :

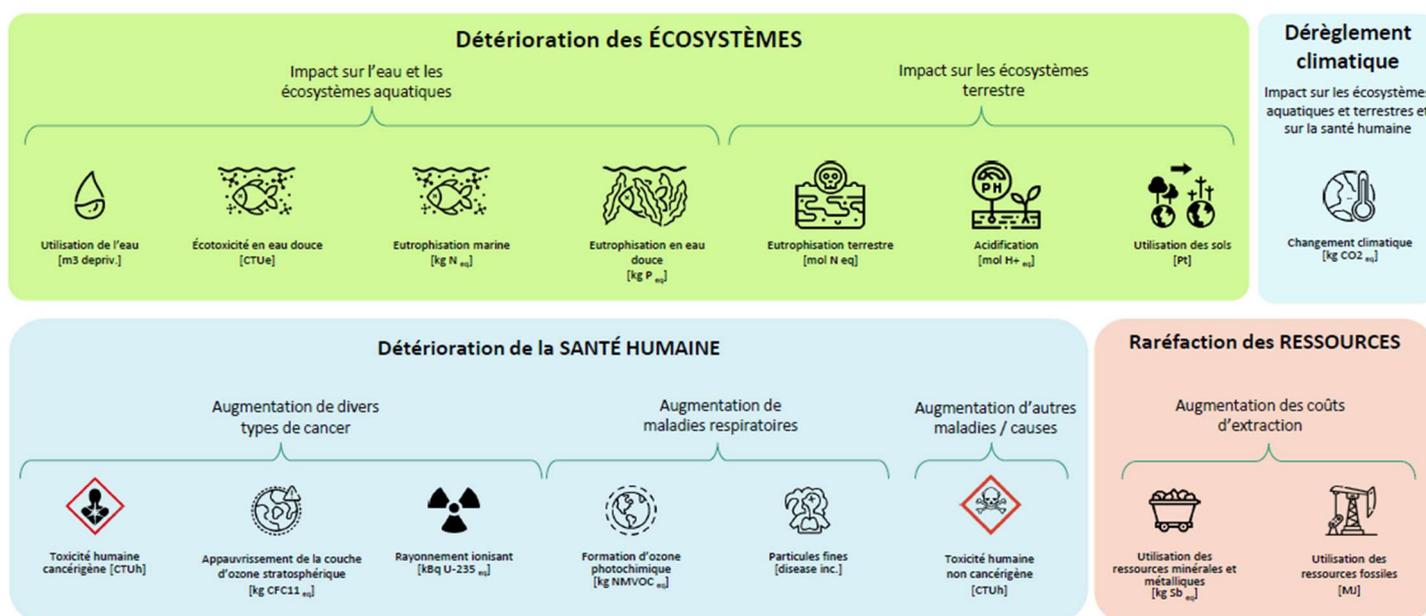


Figure 6 : Différents indicateurs de l'ACV selon la méthode PEF. Source : PNN

- 1) Le dérèglement climatique est un indicateur du potentiel de réchauffement planétaire, exprimé en kgCO<sub>2</sub>eq.
- 2) Pour la détérioration de la santé humaine, les indicateurs explorent la toxicité humaine cancérigène et non cancérigène (exprimé en Unité Toxique Comparative pour les êtres humains, CTUh), le potentiel d'appauvrissement de la couche d'ozone stratosphérique, qui filtre les rayons ultraviolets responsables de cancers cutanés (en kg CFC-11eq) et l'exposition au rayonnement ionisant (en équivalent kilobecquerels d'Uranium 235 : kg U235eq), ainsi que les effets induits par l'émission de particules fines,

responsables de maladies respiratoires, (exprimés en incidence par kilogramme de PM<sub>2,5</sub> émis), et par la formation d'ozone près du sol, toxique pour les animaux et les plantes et augmentant l'incidence des maladies respiratoires (exprimé en équivalent de kilogramme de composés organiques volatiles n'étant pas du méthane : kg NMVOC eq).

- 3) Pour la détérioration des écosystèmes, les indicateurs mesurent l'eutrophisation, c'est-à-dire l'accumulation de nutriments comme de l'azote ou du phosphore qui conduisent à la croissance d'algues ou autres plantes appauvrissant le milieu en oxygène, indispensable au développement de l'écosystème original. L'eutrophisation marine est exprimée en équivalent de kilogramme d'azote (kg N eq), l'eutrophisation de l'eau douce en équivalent de kilogramme de Phosphore (kg P eq) et l'eutrophisation terrestre en équivalent de mole d'azote (mol N eq). L'acidification, responsable de l'augmentation de la mortalité des forêts et des poissons, est exprimée en équivalent de mole H<sup>+</sup> (mol H<sup>+</sup> eq). Les indicateurs mesurent également l'écotoxicité en eau douce, avec l'impact potentiel sur certaines espèces et l'accumulation de certaines molécules dans les organismes vivants (en unité Toxique Comparative pour les écosystèmes, CTUe). L'impact sur l'utilisation de l'eau reflète la déplétion de l'eau douce disponible, exprimée en mètres cube (m<sub>3</sub>) d'eau utilisés relativement à la disponibilité locale de l'eau (quand cette information est disponible). L'impact sur l'utilisation des terres est composite, exprimé en points (Pts), il prend en compte la production d'êtres vivants, la résistance à l'érosion, la régénération des nappes phréatiques et la filtration mécanique.
- 4) Les indicateurs sur la raréfaction des ressources soulignent le fait que la quantité de ressources non-renouvelables est par définition limitée et que leur

extraction aujourd'hui impose aux générations futures une extraction moindre ou celle de ressources différentes. Le premier concerne l'utilisation d'énergies fossiles (gaz, pétrole et charbon), exprimée en mégajoule (MJ) et le second concerne l'utilisation des ressources minérales et des métaux, exprimé en équivalent de kilogramme d'antimoine (kg Sb eq).

## **B. Application à notre analyse en cycle de vie**

### **1. Réalisation et financement**

Notre analyse en cycle de vie a été menée en partenariat avec l'agence Primum Non Nocere (PNN), spécialisée dans la Responsabilité Sociale et Environnementale dans le domaine de la santé. Notre ACV comparative a été modélisée en utilisant le logiciel SimaPro, en accédant à la base de données Ecolnvent. Cette analyse a été financée par l'Agence Régionale de Santé des Hauts-de-France dans le cadre d'un appel à projets.

Cette analyse en cycle de vie a été réalisée en utilisant la méthode PEF (Product Environmental Footprint) pour la réalisation d'une ACV en se conformant aux recommandations publiées en 2021 par la Commission Européenne<sup>47</sup>.

### **2. Unité fonctionnelle et définition du périmètre**

Nous avons choisi comme unité fonctionnelle la réalisation et le maintien d'une anesthésie suffisante pour une chirurgie ambulatoire, en comparant deux scénarios avec une anesthésie générale et une rachianesthésie, en se limitant à l'anesthésie au bloc opératoire le jour de l'intervention, et au temps passé en Salle de Surveillance Post-Interventionnelle (SSPI). Les données concernant le transport du patient et du personnel sont exclues, tout comme les données liées à la chirurgie. La fabrication et le transport des appareils biomédicaux utilisés lors de l'anesthésie

(respirateur, appareils de surveillance, moteur de la couverture chauffante) sont également exclus du périmètre. La consommation électrique de la salle d'intervention (éclairage et ventilation) n'a pas été prise en compte, du fait de la difficulté d'attribuer un pourcentage de la consommation électrique à l'anesthésie ou à la chirurgie.

### **3. Réalisation de l'Inventaire en Cycle de vie :**

#### **a. Recueil de données : mode et type**

Le recueil de données a été effectué par le biais d'un eCRF, rédigé spécialement pour l'étude par nos soins et hébergé sur le logiciel spécialisé et sécurisé RedCap. Ce recueil était effectué en parallèle de la présence du patient dans la salle d'intervention, pour assurer un recueil le plus précis possible, et le plus proche de la réalité des pratiques du bloc opératoire des urgences. Le eCRF est présent en annexe.

Les principales données recueillies dans l'eCRF sont :

- Données démographiques (âge, poids et taille)
- Type d'anesthésie (AG ou RA)
- Dispositifs médicaux utilisés : nature, taille et quantité
- Médicaments préparés et administrés : type et quantité
- Temps d'occupation de la salle, durée opératoire et durée de séjour au SSPI

Certaines données démographiques ont été comparées en utilisant un test-t pour rechercher des différences significatives.

## **b. Origine des données pour la réalisation de l'inventaire de cycle de vie**

Les données concernant les DM (composition, origine, emballage primaire et secondaire, mode de stérilisation, élimination) ont été obtenues en consultant les étiquettes et les fiches techniques, quand elles étaient disponibles sur la centrale d'achat interhospitalière (UNIhA). Nous avons pesé les DM en utilisant une balance industrielle prêtée par la faculté de pharmacie, avec une précision de 0.01g. Les données sur le transport des DM ont été estimées à partir des données présentes sur les étiquettes.

Les données concernant le textile réutilisable proviennent de la blanchisserie du CHU. Les données concernant le traitement des déchets du CHU proviennent de l'ingénieur du CHU en charge de cette question. Certaines données, comme celles sur l'ACV d'un lavage stérile des mains, sont issues d'études réalisées par PNN antérieurement.

Les données concernant le cycle de vie des médicaments proviennent d'un article<sup>48</sup> publié en 2019 qui concernait l'ACV de 20 médicaments communément utilisés dans le cadre de l'anesthésie, en analysant notamment les étapes de synthèse chimique. Les données sur la synthèse du sevoflurane proviennent de l'étude<sup>49</sup> publiée par Hu et al. Seuls les médicaments qui ont été administrés le plus souvent ont été considérés pour l'analyse, et il a été considéré que tous les patients avaient reçu du Plasmalyte comme soluté de remplissage.

La consommation électrique des appareils biomédicaux en fonctionnement a été estimée à partir des données mentionnées sur les étiquettes.

#### 4. Modélisation de l'ACV

Pour faciliter la modélisation et l'analyse, les deux scénarios ont été divisés en étapes, la plupart étant communes même si les données analysées diffèrent (Figure 7).



Figure 7 : Etapes des anesthésies analysées lors de l'ACV. En jaune : étapes spécifiques de l'AG

Dans l'étape d'induction, seuls les médicaments préparés sont analysés, tous les DM utilisés pour les administrer étant réunis dans l'étape de préparation du matériel, même si ces étapes ont lieu de façon concomitante dans la RA.

Dans l'étape de gestion des voies aériennes, nous avons étudié un scénario avec un masque laryngé et un scénario avec une intubation orotrachéale.

Tous les antalgiques qui ont été administrés pendant ou après l'intervention ont été considérés dans l'étape de l'analgésie peropératoire.

## **5. Mode de sélection des impacts les plus significatifs**

L'identification des impacts qui sont jugés comme les plus significatifs a été réalisée selon les recommandations de la méthode PEF, avec une étape de normalisation puis de pondération des données (pour pouvoir les comparer et leur attribuer une importance relative les unes par rapport aux autres). On sélectionne ensuite les catégories d'impact qui contribuent à 80 % de l'impact total, les autres catégories étant considérées comme non significatives.

Nous avons principalement décrit les résultats concernant le réchauffement climatique parce que c'est le seul critère pour lequel il existe des objectifs de réduction chiffrés nationaux et internationaux.

# Résultats

## I. Données Descriptives

### A. Données démographiques

Cette étude a été menée du 2 mai 2024 au 21 octobre 2024 au bloc opératoire du CHU de Lille. Elle a permis d'inclure 13 patients, 9 dans le groupe anesthésie générale et 4 dans le groupe rachianesthésie (*Tableau 1*). L'âge moyen était de 37 ans dans le groupe AG et 32 ans dans le groupe RA. Il n'y avait pas de différence significative entre les deux groupes.

Caractéristiques	Anesthésie Générale (n=9)	Rachianesthésie (n=4)	p-value
Age Moyen	37 [22-57]	32 [22-36]	0.49
Genre (H-F)	77-23 %	50-50 %	
Taille Moyenne (en cm)	174, 6 [170-180]	178,3 [165-196]	0.47
IMC moyen	26 [19-39]	24 [18-28]	0.52
Score ASA (1U-2U)	77-23 %	100-0%	

*Tableau 1: Principales caractéristiques des patients inclus*

### B. Caractéristiques des interventions étudiées

La durée moyenne de l'occupation de la salle pour l'AG était de 57 minutes, avec un temps d'intervention moyen de 12 minutes. Le temps moyen passé en salle de surveillance post-interventionnelle (SSPI) était de 189 minutes.

La durée moyenne d'occupation de la salle pour la RA était de 43 minutes avec un temps d'intervention moyen de 11 minutes et un temps moyen passé en SSPI de 155 minutes.

Il n'existe pas de différence significative entre les durées moyennes d'occupation de salle d'intervention, la durée opératoire moyenne et le temps moyen passé en SSPI pour les deux types d'anesthésie. (*Tableau 2*)

Temps Moyens (min)	Groupe AG (n=9)	Groupe RA (n=4)	p-value
Occupation de la salle d'intervention	57,2 [30-90]	42,5 [35-50]	0,13
Opérateur	11,7 [5-37]	11,25 [3-20]	0,93
Passé en SSPI	189,33 [130-270]	155 [60-240]	0,43

Tableau 2 : Comparaison des temps moyens des deux types d'anesthésie, avec les valeurs minimales et maximales entre crochets.

## II. Inventaires des flux pour la réalisation de l'ACV

### A. Inventaire des dispositifs médicaux

Les DM sont classés par étapes de l'anesthésie (Tableau 3)

#### 1. Habillage et Installation

Les étapes d'habillage du patient et des soignants, ainsi que l'installation du patient, avec mise en place des éléments de surveillance et insertion de la voie veineuse périphérique, sont globalement comparables entre les deux types d'anesthésie.

La surveillance des patients est composée d'une analyse d'une dérivation de l'électrocardiogramme, par le biais d'un câble réutilisable et de 3 électrodes à usage unique, d'une surveillance de la pression artérielle avec un brassard réutilisable et de la saturation artérielle en oxygène, via un saturomètre réutilisable. Les patients sont tous perfusés.

#### 2. Préparation du matériel

La préparation de l'AG nécessite en moyenne 7 seringues de différentes tailles, avec 5 trocarts, disposées dans un plateau en carton à usage unique.

La préparation de la RA nécessite une seringue et un trocart, avec une aiguille de RA et son introducteur. L'opérateur a procédé à un lavage stérile des mains, il porte une paire de gants stériles et protège la zone de ponction d'un champ stérile.

### **3. Pré-oxygénation et gestion des voies aériennes**

La pré-oxygénation se déroule grâce à un masque de ventilation à usage unique relié au respirateur par un circuit qui est changé une fois par semaine.

Dans deux tiers des AG pratiquées les voies aériennes étaient sécurisées par le biais d'une sonde d'intubation, en utilisant une lame de laryngoscope à usage unique.

Dans un tiers des cas, un masque laryngé à usage unique était utilisé. Il n'y a pas eu d'intubation difficile.

### **4. Réveil de l'anesthésie**

Au moment de l'émergence de l'AG, les sécrétions sont aspirées par le biais d'une sonde d'aspiration endotrachéale, reliée à un bocal d'aspiration par un tuyau. Ces derniers sont changés tous les jours.

Etape	Elément	Matériaux	Poids (g)	Emballage Primaire	Origine	Allocation		
						AG	RA	
<b>Habillage Patient</b>	Tenue UU	Polypropylène	104	Plastique	Chine	1	1	
	Charlotte	Polypropylène	0.67			1	1	
	Surchaussure	Polypropylène	0.48		Chine	2	1	
	Masque	Polypropylène	3	Carton		1	1	
<b>Habillage Soignant</b>	Pyjama	Coton, Polyester	528			3	2	
	Masque	Polypropylène	3	Carton	France	3	2	
	Calot	Coton	27			3	2	
<b>Installation</b>	Electrode	PVC, Argent	1,23	Plastique		3	3	
	Cable ECG	Polyuréthane, Cuivre			Chine	1*	1*	
	Brassard PA	Nylon, Silicone	147			1*	1*	
	Saturomètre	Silicone, Polyuréthane	85			1*	1*	
	Cathéter VVP	Polyuréthane, Acier, Polypropylène	3.82	Plastique/Papier	Singapour	1	1	
	Pansement Hydrofilm	Polyuréthane	1,06	Plastique/Papier	Allemagne	1	1	
	Valve Anti-retour	Polycarbonate	1,9	Plastique/Papier	Chine	1	1	
	Gant non-stérile	Latex, Acrylonitrile	5.95	Carton	Indonésie	2	2	
	Garrot	Isoprène	12			1	1	
	Perfuseur	PVC, ABS	33	Plastique/Papier	Chine	1	1	
	Robinet d'injection	Polycarbonate	5	Plastique/Papier	Tunisie	1	1	
	Compresse	Viscose, Polyester	1,08	Plastique/Papier	Asie Sud-Est	5	10	
	Micropore	Rayonne, Résine	11,5	Carton	USA	1	1	
	Draps	Coton	754			2	2	
	<b>Préparation matériel</b>	Trocart 19G	Inox, Polypropylène	0,92	Plastique/Papier	Chine	5	2
		Seringue 2mL	Polypropylène, Polyéthylène	1.17	Plastique/Papier	Espagne	1	0
		Seringue 5 ml	Polypropylène, Polyéthylène	3.85	Plastique/Papier	Espagne	2	1
Seringue 10 ml		Polypropylène, Polyéthylène	5,99	Plastique/Papier	Espagne	2	0	
Seringue 20 ml		Polypropylène, Polyéthylène	11,1	Plastique/Papier	Espagne	2	0	
Plateau Carton		Papier Recyclé	18,94	Carton	Allemagne	1	0	
Aiguille RA		Inox, Polypropylène	2,11	Plastique/Papier	UE	0	1	
Introducteur RA		Inox, Laiton	2,9	Plastique/Papier	UE	0	1	
Gant Stérile		Poly isoprène	23,94	Papier	Thaïlande	0	2	
Champ Stérile		Polypropylène, Polyéthylène	26.3	Papier	Tchéquie	0	1	
Brosse		Polyuréthane, Polypropylène	16	Plastique/Papier	Chine	0	1	
Essuie Main		Papier	1	Papier		0	2	
Pansement Cicaplaie		Polyester, polyéthylène	0.78	Papier	Espagne	0	1	
<b>Préoxygénation</b>		Masque Ventilation	PVC	50,12	Polypropylène	Chine	1	0
	Circuit Respirateur	PVC	218	Plastique/Papier	Italie	1**	0	
	Filtre + Raccord	Plastique, PVC	38,88	Plastique/Papier	Italie	1	0	
	Sonde d'intubation	PVC	18,11	Plastique/Papier	Malaisie	1***	0	

<b>Gestion des Voies Aériennes</b>	Lame de Laryngoscope	Inox, Aluminium, Acrylique	84,88	Plastique	France	1***	0
	Manche de laryngoscope	Laiton	398	Carton	France	1***	0
	Canule de Guedel	Polypropylène	13,25	Plastique	Lituanie	1	0
	Masque Laryngé	PVC	87,68	Plastique/ Papier	Chine	1	0
	Leucoplast	Acétate tissée	13,99	Plastique	France	1	0
	Chaux Sodée	Hydroxyde de sodium, hydroxyde de calcium	954	Polypropylène	Royaume-Uni	1**	0
<b>Réveil</b>	Sonde d'aspiration	PVC	8,11	Plastique/ Papier	Turquie	1	0
	Stop vide	Acrylonitrile, Nitrile	8,03	Plastique/ Papier	France	1	0
	Bocal d'aspiration + Tuyau	PVC, Polypropylène, Polyéthylène		Plastique	Chine	1†	0
	Lingette	Polyester		Plastique	France	1	1

*Tableau 3 : Résumé des caractéristiques des DM utilisés pour l'anesthésie, et leurs allocations, selon les étapes. Légende des allocations des DM à usage multiples : † : changement une fois par jour, \* : Changement tous les ans, \*\* : Changement tous les 7 jours, \*\*\* : un scénario avec ML (UU) et un scénario avec sonde d'IOT, lame de laryngoscope (UU) avec un manche de laryngoscope renouvelé tous les 5 ans.*

## 5. Précisions sur les caractéristiques des DM

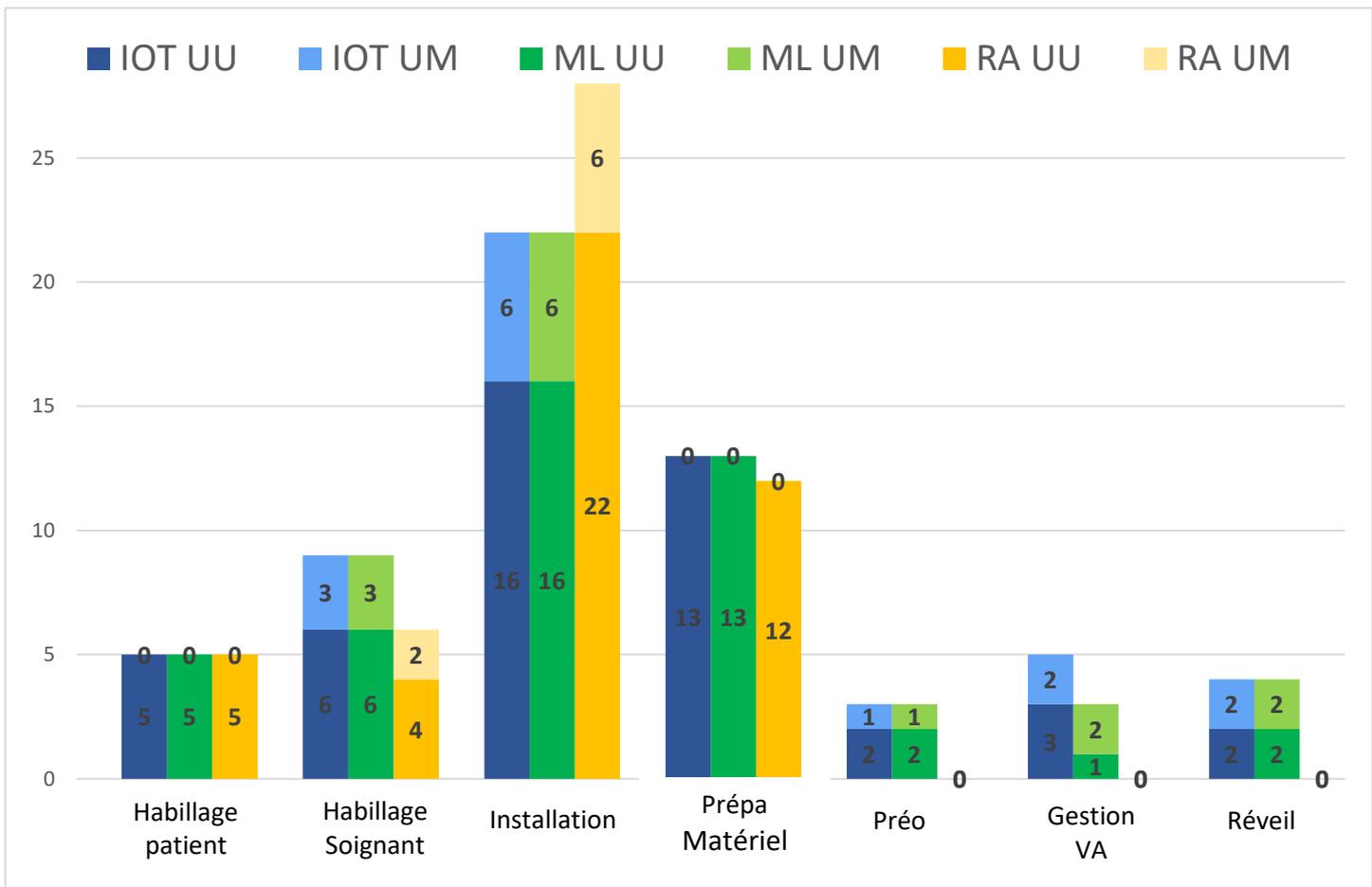


Figure 8 : Quantité moyenne de DM utilisée par scénario et par étape selon qu'il soit à usage unique (en foncé) ou à usage multiple (couleur claire).

En moyenne :

- pour l'AG avec IOT, 61 DM ont été utilisés dont 47 à usage unique (77%)
- pour l'AG avec ML, 59 DM ont été utilisés, dont 45 à usage unique (76%)
- pour la RA, 51 DM ont été utilisés, donc 43 à usage unique (88%).

Sur le total des DM à usage unique utilisés pendant l'AG avec IOT, 81 % contiennent au moins un dérivé du plastique.

58 % des DM utilisés sont fabriqués en Europe, 32 % en Asie et 11 % dans le reste du monde.

## **B. Inventaire des médicaments**

Les anesthésies générales de l'étude se sont déroulées avec une induction par voie intraveineuse, suivi d'un entretien inhalatoire, en administrant en moyenne 7mL de sevoflurane.

La fonction d'anesthésie à objectif de concentration (FetCible sur les machines Aysis) était activée dans 7 cas sur 8 (la donnée n'est pas renseignée pour le dernier cas).

L'AG nécessite l'utilisation de 11 médicaments en moyenne. (Tableau 4)

Dans le groupe RA, les 4 patients ont reçu une anesthésie avec de la Prilocaine, il n'y avait pas de recueil spécifique de la technique utilisée, entre une RA conventionnelle ou un saddle bloc. Il n'y a pas eu d'échec, ni de complication à type d'hypotension artérielle ou de rétention aiguë d'urine. Aucun patient n'a reçu de sédation additionnelle.

La RA nécessite l'utilisation de 5 médicaments en moyenne (Tableau 4).

Etape	Médicament	Emballage primaire	Quantité préparée moyenne (pourcentage d'utilisation)	
			AG	RA
<b>Installation</b>	Chlorhexidine	Plastique	10 ml	10 ml
<b>Préparation Matériel</b>	Bétadine Alcoolique	Plastique		125 ml
	Solution hydroalcoolique	Plastique	36 ml	
	Savon	Plastique		
<b>Induction</b>	Propofol	Verre	511 mg (100 %)	0
	Kétamine	Verre	50 mg (44%)	0
	Sufentanil	Verre	23,9 µg (100%)	0
	Lidocaïne	Plastique	90 mg (22%)	0
	Prilocaine	Verre	0	50 mg (100 %)
	Atropine	Verre	0.5 mg (11%)	0.5 mg (25%)
	Ephédrine	Plastique	30 mg (11%)	0
	Métronidazole	Polyéthylène	750 mg (22%)	1000 mg (25%)
	Dexaméthasone	Verre	7,3 mg (66%)	0
	Droperidol	Verre	1,25 mg (22%)	0
	Ondansétron	Verre	4 mg(11%)	0
	Ringer Lactate	Plastique	500 ml (44%)	500 ml (50 %)
	Plasmalyte	Plastique	500 ml (44%)	500 ml (50 %)
	NaCl	Plastique	500 ml (11%)	0
<b>Entretien</b>	Sevoflurane	Polyéthylène naphthalate	7 ml (100%)	0
<b>Analgésie peropératoire</b>	Paracétamol	Polyéthylène	1000 mg (100%)	1000 mg (100%)
	Tramadol	Verre	100 mg(66%)	0
	Néfopam	Verre	24 mg (55%)	20 (25 %)
	Morphine	Plastique	0	10 (PO) (25 %)
	Oxygène		272 L (100 %)	0

*Tableau 4 : Résumé des médicaments utilisés pour l'anesthésie, avec leurs emballages, les quantités préparées moyennes et le pourcentage des interventions où ils ont été utilisés.*

### C. Inventaire des appareils biomédicaux et des déchets

Les données sur les appareils électriques en fonctionnement lors des anesthésies ont également été recueillies (*Tableau 5*) :

Les appareils biomédicaux apparaissent dans plusieurs étapes, en fonction de leur utilisation. Les impacts liés à leur fonctionnement ont été calculés en fonction de la puissance des appareils et de la durée des étapes.

Type	Marque	Nom	Puissance (en W)
Ecran Ordinateur	AOC		330
Tour Ordinateur	Lenovo	10 M8	660
Respirateur	GE Healthcare	Aysis	1760
Scope	GE Healthcare	Carescap Monitor B650	308
Moteur Chauffante	3M Health Care	Bear Hugger Warming Unit 775	1584

*Tableau 5 : Résumé des appareils électroniques utilisés*

La pesée de la poubelle de DAOM en fin d'intervention retrouve la production moyenne de 490 g [300 – 900] de déchets pour l'AG et 500 g [100 -800] pour la RA.

### III. Identification des principaux indicateurs environnementaux

Dans notre ACV les indicateurs entourés suivants représentent 80% de l'impact global, ils ont donc été considérés comme les plus significatifs. (Figure 9) :

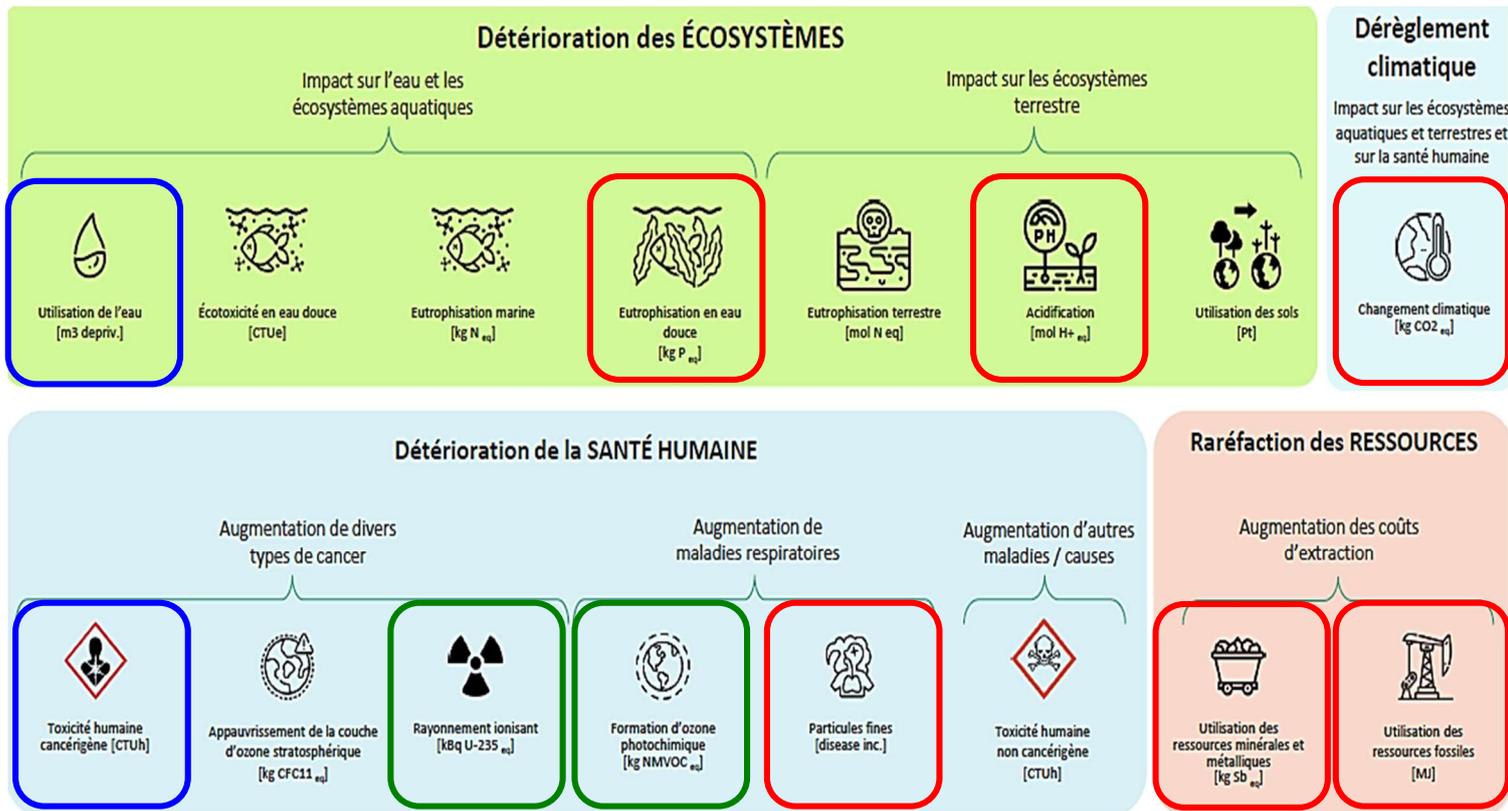


Figure 9: Indicateurs considérés comme les plus significatifs sur l'impact environnemental, en rouge les indicateurs communs pour l'AG et la RA, en bleu ceux qui sont significatifs seulement pour l'AG et en vert seulement pour la RA.

Les trois impacts qui participent le plus à l'empreinte environnementale globale de l'anesthésie générale dans notre ACV sont le changement climatique (27%) et l'utilisation des ressources fossiles (17%), minérales et métalliques (11%), soit plus de 55% de l'impact environnemental global.

Pour la rachianesthésie, les trois impacts les plus importants sont les mêmes : le changement climatique (22%), l'épuisement des ressources fossiles (24%) et minérales et métalliques (19%), soit 65 % de l'impact environnemental global de la RA.

## IV. Résultats de l'ACV : comparaison des impacts environnementaux selon les deux techniques d'anesthésie

### A. Comparaison pour une intervention

Pour tous les indicateurs significatifs de notre ACV, l'impact environnemental de la rachianesthésie était inférieur à celui de l'anesthésie générale que ce soit pour l'AG avec IOT ou l'AG avec ML) (Tableau 6 et Figure 10)

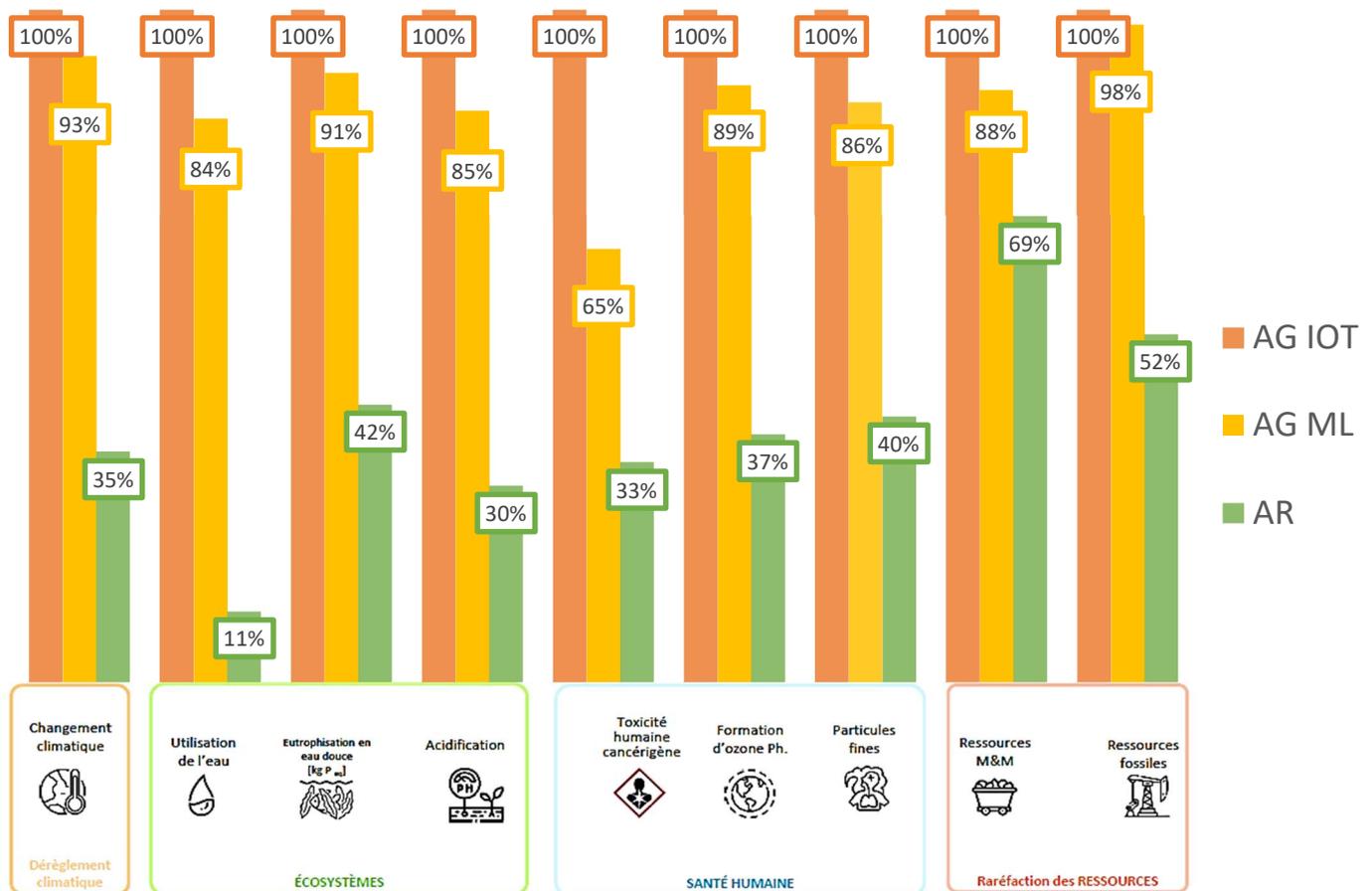


Figure 10 : Comparaison (en %) des impacts environnementaux de l'AG avec IOT, de l'AG avec ML et de RA selon les catégories d'impact considérées

Concernant le changement climatique, la RA était responsable de la production de 4,58 kg CO<sub>2</sub>eq contre 13,2 kg CO<sub>2</sub> eq pour l'AG avec sonde d'IOT et 12,30 kg CO<sub>2</sub> eq avec ML, soit une réduction de 65 % et 63% respectivement.

Concernant la raréfaction des ressources, la RA est responsable d'une utilisation des ressources fossiles équivalent à 97,7 MJ, contre 187,8 MJ pour l'AG avec IOT et 183,7 MJ pour le scénario avec le ML, soit une réduction de 48% et 47% respectivement.

Pour l'utilisation des ressources de minéraux et de métaux, la RA permet de réduire l'impact de 31 % et de 21 % par rapport à l'AG avec IOT et avec ML.

Concernant les indicateurs sur la détérioration des écosystèmes, la RA permet d'économiser respectivement 13.19 m3 d'eau et 10.8 m3 d'eau, soit une réduction de 89 % et 87% de l'impact par rapport à l'AG avec IOT et ML.

Concernant les indicateurs sur la détérioration de la santé humaine, la RA permet entre-autre de réduire la production de particules fines de 60 % et de 54 % respectivement par rapport à l'AG avec IOT et ML.

Catégorie de dommages	Unité	IOT	ML	RA
Acidification	mol H+ eq	6,67E-02	5,68E-02	1,98E-02
Changement climatique	kg CO2 eq	13,20	12,30	4,58
Particules fines	disease inc.	5,45E-07	4,71E-07	2,18E-07
Eutrophication eau douce	kg P eq	3,41E-03	3,09E-03	1,42E-03
Toxicité humaine cancérigène	CTUh	4,80E-08	3,10E-08	1,59E-08
Formation d'ozone photochimique	kg NMVOC eq	4,68E-02	4,16E-02	1,75E-02
Utilisation des ressources fossiles	MJ	187,84	183,75	97,77
Utilisation ressources métaux/minérales	kg Sb eq	1,29E-04	1,14E-04	8,95E-05
Utilisation de l'eau	m3 depriv.	14,85	12,47	1,67

*Tableau 6 : Comparaison des résultats brutes des impacts environnementaux de l'AG avec IOT ou ML et de la RA selon la catégorie considérée.*

## **B. Comparaison rapportée au nombre d'intervention réalisée annuellement**

D'après les données du département d'information médicale du CHU, il y a eu 269 interventions de chirurgie périanale au bloc opératoire des urgences du CHU en 2024, toutes techniques d'anesthésie confondues.

Si toutes les interventions avaient été réalisées sous rachianesthésie cela aurait permis d'éviter l'émission de l'équivalent de 2319 kgCO<sub>2</sub> eq et 3547 m<sup>3</sup> d'eau par rapport aux mêmes interventions réalisées sous AG avec IOT. Dans le cas d'une comparaison avec où les interventions seraient réalisées sous AG avec ML, la RA permettrait d'éviter l'émission de 2077 kgCO<sub>2</sub> eq ainsi que d'éviter l'utilisation de 2906 m<sup>3</sup> d'eau (Tableau 7).

Selon le comparateur carbone développé par l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME), l'économie potentielle de la RA par rapport à l'AG avec IOT représente l'équivalent de 10657 kms parcourus avec une voiture thermique, ou 1.31 fois un aller/retour en avion entre Paris et New-York (Figure 11). L'économie d'eau de la RA par rapport à l'AG correspond quant à elle à l'équivalent d'1.4 piscine olympique d'une profondeur de 2m.



Figure 11 : Résultats du comparateur carbone de l'ADEME pour l'impact carbone annuel qui aurait pu être économisé par l'utilisation de la RA plutôt que de l'AG avec IOT (2319 kg CO<sub>2</sub> eq).

		Impact IOT/an	Impact ML/an	Impact RA/an	Différence IOT-RA	Différence ML-RA
Acidification	mol H+ eq	1,79E+01	1,53E+01	5,33E+00	12,615	9,943
Climate change	kg CO2 eq	3,55E+03	3,31E+03	1,23E+03	2319,151	2077,077
Particulate matter	disease inc.	1,47E-04	1,27E-04	5,86E-05	8,80E-05	6,80E-05
Eutrophication, freshwater	kg P eq	9,17E-01	8,32E-01	3,82E-01	0,535	0,449
Human toxicity, cancer	CTUh	1,29E-05	8,34E-06	4,27E-06	8,63E-06	4,07E-06
Photochemical ozone formation	kg NMVOC eq	1,26E+01	1,12E+01	4,70E+00	7,890	6,489
Resource use, fossils	MJ	5,05E+04	4,94E+04	2,63E+04	24226,700	23127,692
Resource use, minerals and metals	kg Sb eq	3,47E-02	3,06E-02	2,41E-02	1,06E-02	6,50E-03
Water use	m3 depriv.	4,00E+03	3,35E+03	4,48E+02	3547,78	2906,48

*Tableau 7 : Calculs des impacts environnementaux si toutes les chirurgies périanales de 2024 avaient été réalisées avec la même technique d'anesthésie, et les impacts « économisés » par la RA par rapport à l'AG avec IOT et AG avec ML.*

## **V. Résultats de l'ACV : étude d'impact selon la technique d'anesthésie**

Pour la suite de la description des résultats, nous avons d'abord choisi de présenter la répartition des contributions des différentes étapes de l'anesthésie selon les 9 catégories d'impact environnemental significatives.

Puis nous présentons les 3 étapes les plus impactantes par type d'anesthésie, qui sont déterminées selon l'impact sur le changement climatique, qui est l'impact avec les données les plus robustes et le plus analysé actuellement.

Pour chaque étape nous présentons les impacts relatifs des DM, des médicaments et de la consommation électrique des appareils qui la composent sur l'impact total de l'étape. Il est alors possible d'identifier les principaux contributeurs et donc les actions potentielles à réaliser dans le cadre d'une écoconception.

En plus de l'impact sur le changement climatique nous présentons également celui sur l'épuisement des ressources minérales, métalliques et fossiles afin de visualiser les potentiels gains concomitants des actions d'écoconception.

Les valeurs brutes de tous les impacts environnementaux sont présentes en annexe pour toutes les étapes.

## A. Etude des impacts de l'anesthésie générale

### 1. Répartition des impacts selon les étapes de l'AG

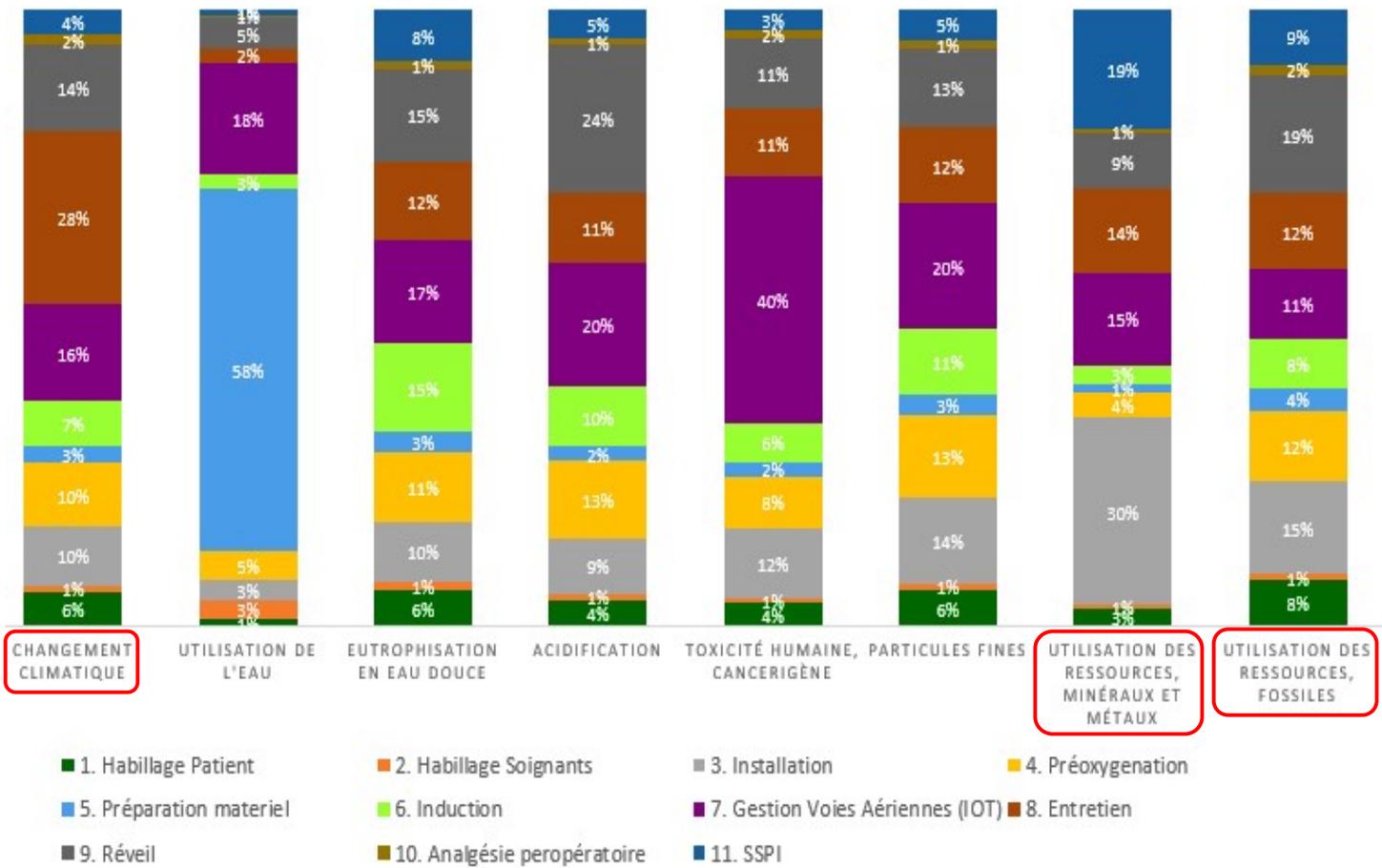
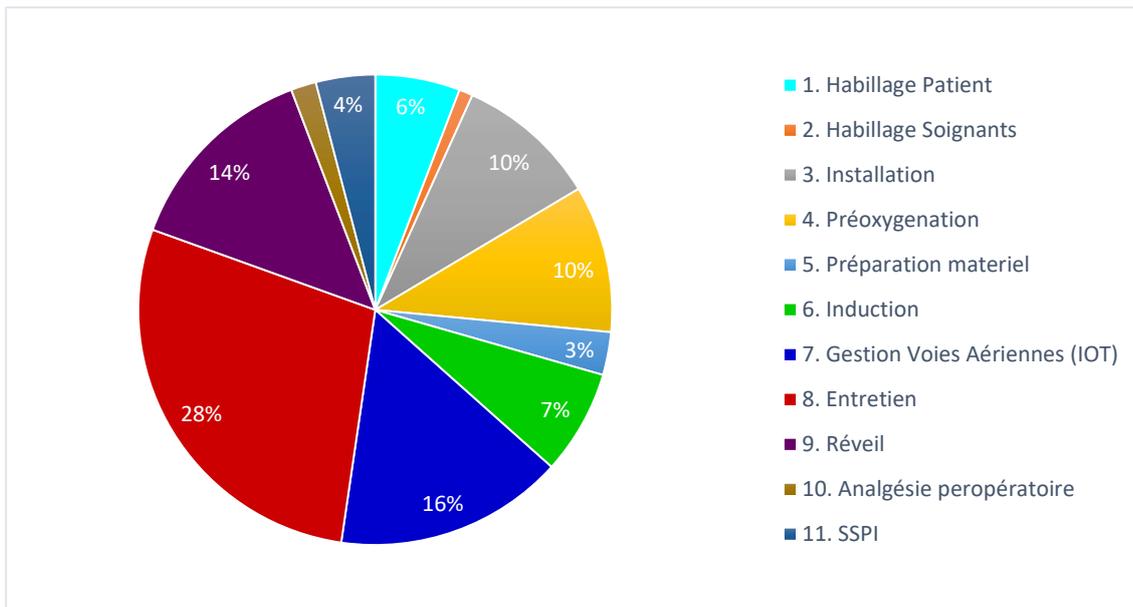


Figure 12 : Répartition des impacts relatifs (en %) des étapes de l'AG avec IOT selon la catégorie d'impact considérée, en rouge les catégories d'impacts présentées dans la suite des résultats

## 2. Description des étapes de l'AG les plus impactantes



*Figure 13 : Répartition des impacts relatifs (en %) des différentes étapes de l'AG avec IOT pour l'impact sur le changement climatique*

Les 3 étapes de l'AG les plus impactantes pour le changement climatique sont l'entretien (28%), la gestion des voies aériennes (16%) et le réveil de l'anesthésie (14%) soit un total de 58% de l'impact global (Figure 13).

### a. Entretien de l'anesthésie

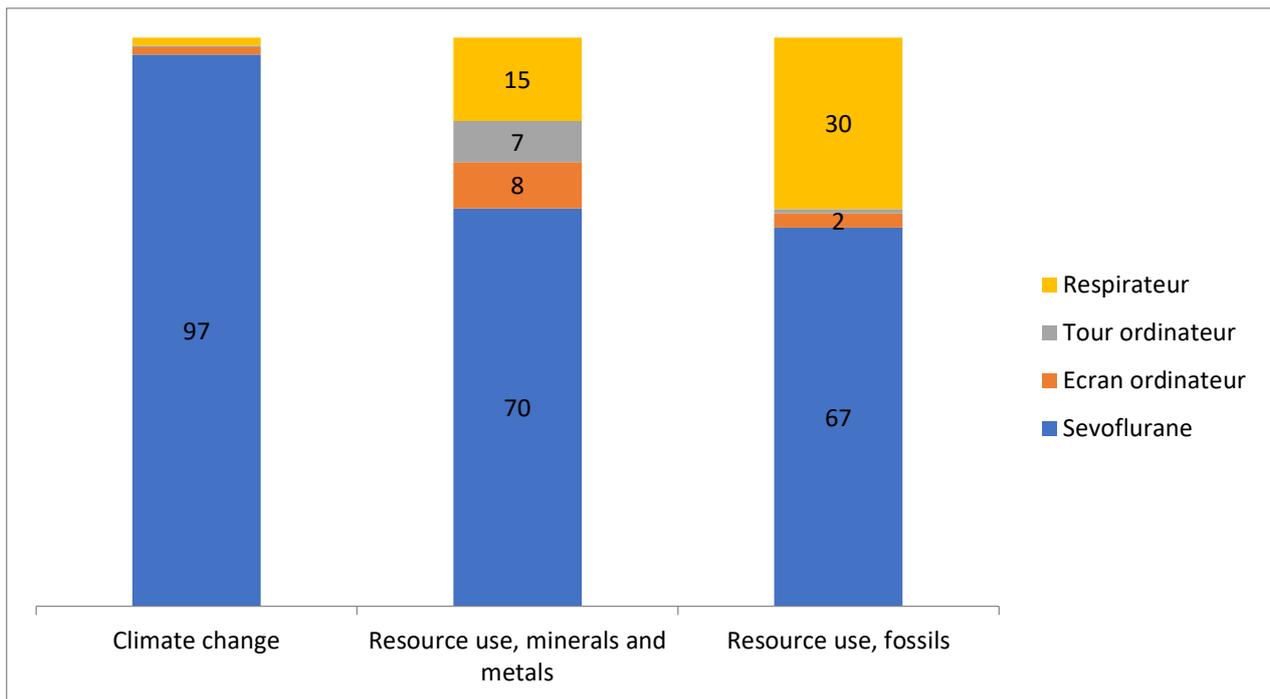


Figure 14 : Répartition de l'impact des DM (en %) utilisés pour l'entretien de l'AG selon les catégories d'impact environnemental considérées.

C'est le sevoflurane administré qui est le principal contributeur de tous les impacts de l'étape de l'entretien de l'anesthésie. Il représente à lui seul une émission de 3.62 kg CO<sub>2</sub> eq, soit 27% du total de l'impact de l'AG sur le changement climatique (Figure 14). L'origine de cet impact est liée en partie aux émissions consécutives à la synthèse du médicament et à son impact sur l'effet de serre une fois rejeté dans l'atmosphère.

## b. Gestion des voies aériennes

### Scénario avec intubation

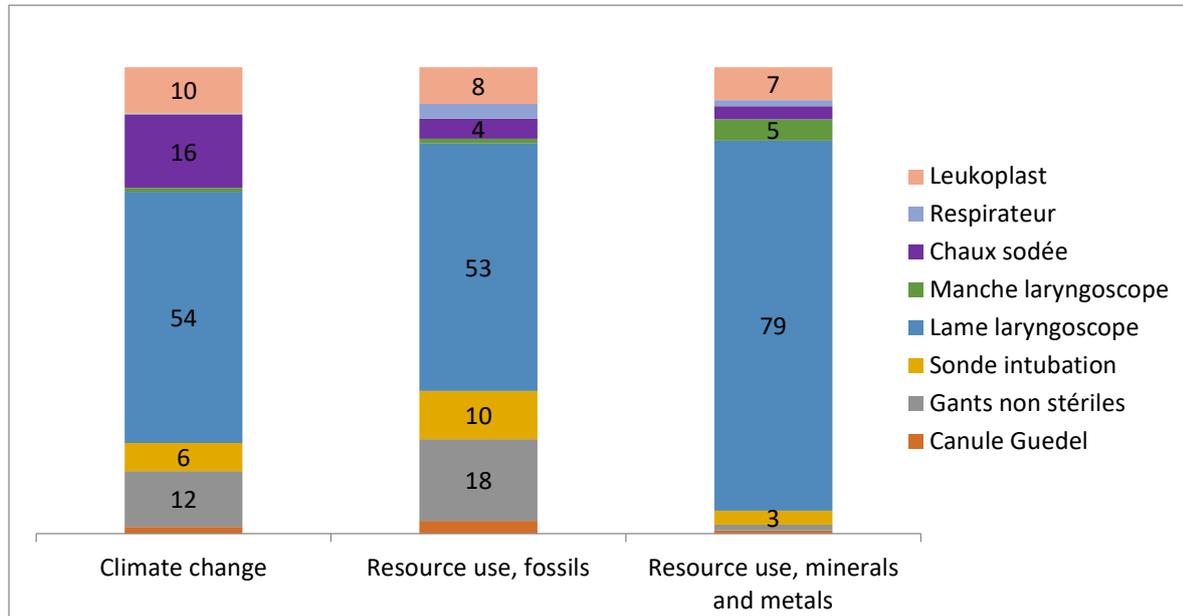


Figure 15 : Répartition de l'impact des DM utilisés (en %) pour la gestion des voies aériennes avec sonde d'intubation selon les catégories d'impact considérées.

Dans le scénario avec intubation c'est la lame de laryngoscope à usage unique qui est responsable de la majorité des impacts (Figure 15). Elle représente l'émission de 1.1 kgCO<sub>2</sub>eq, soit 8% de l'impact total de l'AG avec intubation. La sonde d'intubation représente l'émission de 0.12 kg CO<sub>2</sub> eq.

## Scénario avec Masque Laryngé

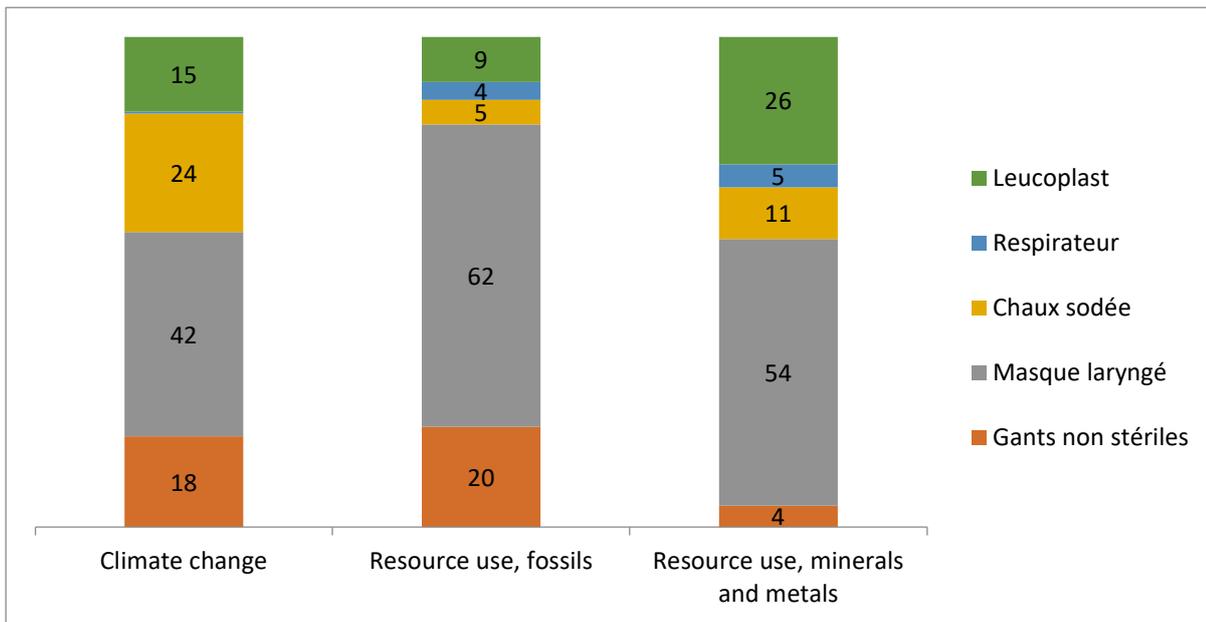
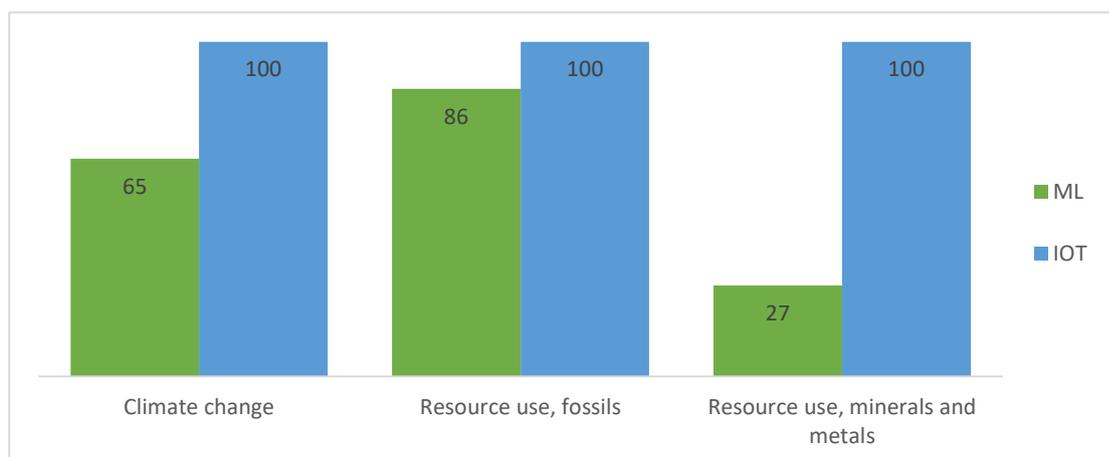


Figure 16 : Répartition des impacts des DM (en %) utilisés pour l'étape de gestion des voies aériennes avec Masque Laryngé selon les catégories d'impact considérées.

Dans le scénario sans intubation c'est le masque laryngé qui est responsable de la majorité de l'impact, soit d'une émission correspondant à 0.55 kgCO<sub>2</sub>eq (Figure 16)

L'origine de cet impact est liée en majorité à la synthèse du plastique le composant.

## Comparaison de l'IOT et du ML pour la gestion des voies aériennes



*Figure 17 : Comparaison (en %) de l'impact de l'étape de gestion des voies aériennes selon l'utilisation d'un ML ou d'une sonde d'IOT en fonction des catégories d'impact considérées*

L'impact de l'utilisation d'un ML est plus faible pour toutes les catégories d'impact considérées par rapport à l'intubation oro-trachéale (Figure 17 et Tableau 8). Sur la catégorie changement climatique par exemple, il permet de réduire l'impact de 35 %, ou encore de 73 % pour la catégorie utilisation des ressources minérales et métaux.

Catégorie de dommages	Unité	ML	IOT
Changement Climatique	kg CO2 eq	1,34	2,07
Utilisation des ressources fossiles	MJ	18,13	21,12
Utilisation des ressources métaux et minéraux	kg Sb eq	5,23E-06	1,93E-05

*Tableau 8 : Comparaison des impacts de l'étape de gestion des voies aériennes selon l'utilisation d'un masque laryngé ou d'une sonde d'intubation*

### c. Réveil de l'anesthésie générale

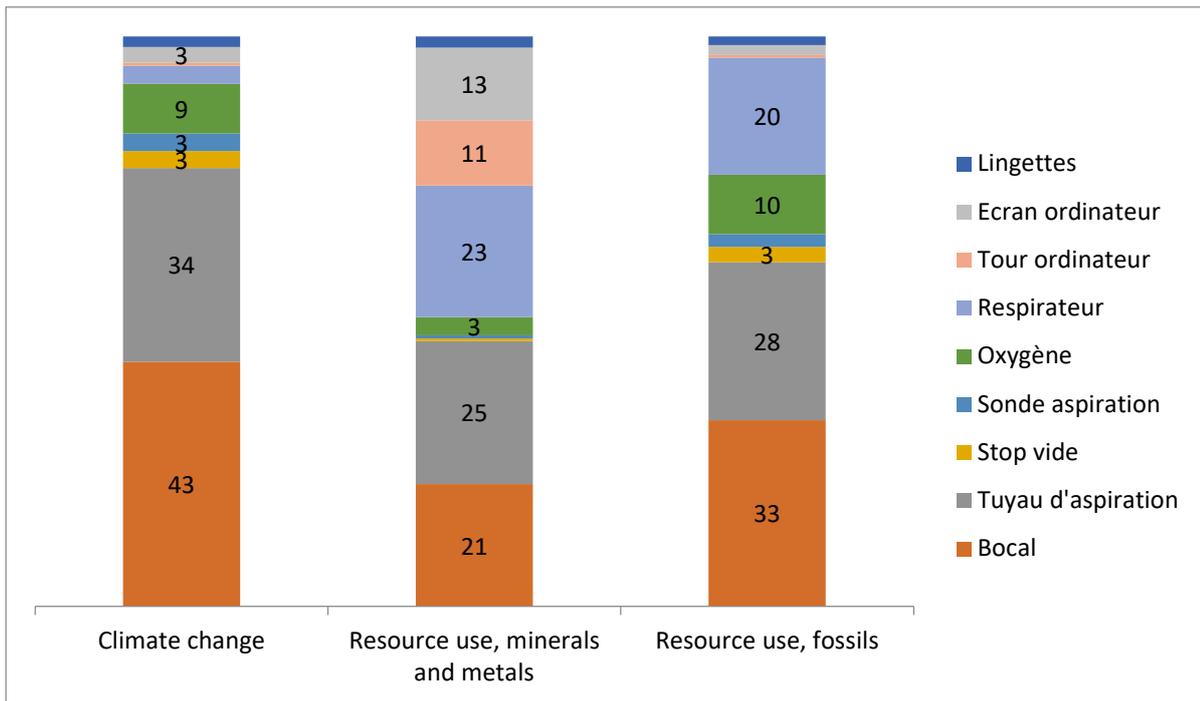


Figure 18 : Répartition des impacts des DM (en %) utilisés dans l'étape de réveil de l'AG selon les catégories d'impacts considérées

L'impact de l'étape du réveil de l'AG est principalement lié à l'utilisation d'un bocal d'aspiration avec son tuyau le reliant à une sonde d'aspiration endotrachéale qui sont tous composés de PVC (Figure 18).

## B. Etude des impacts de la rachianesthésie

### 1. Répartition des impacts selon les étapes :

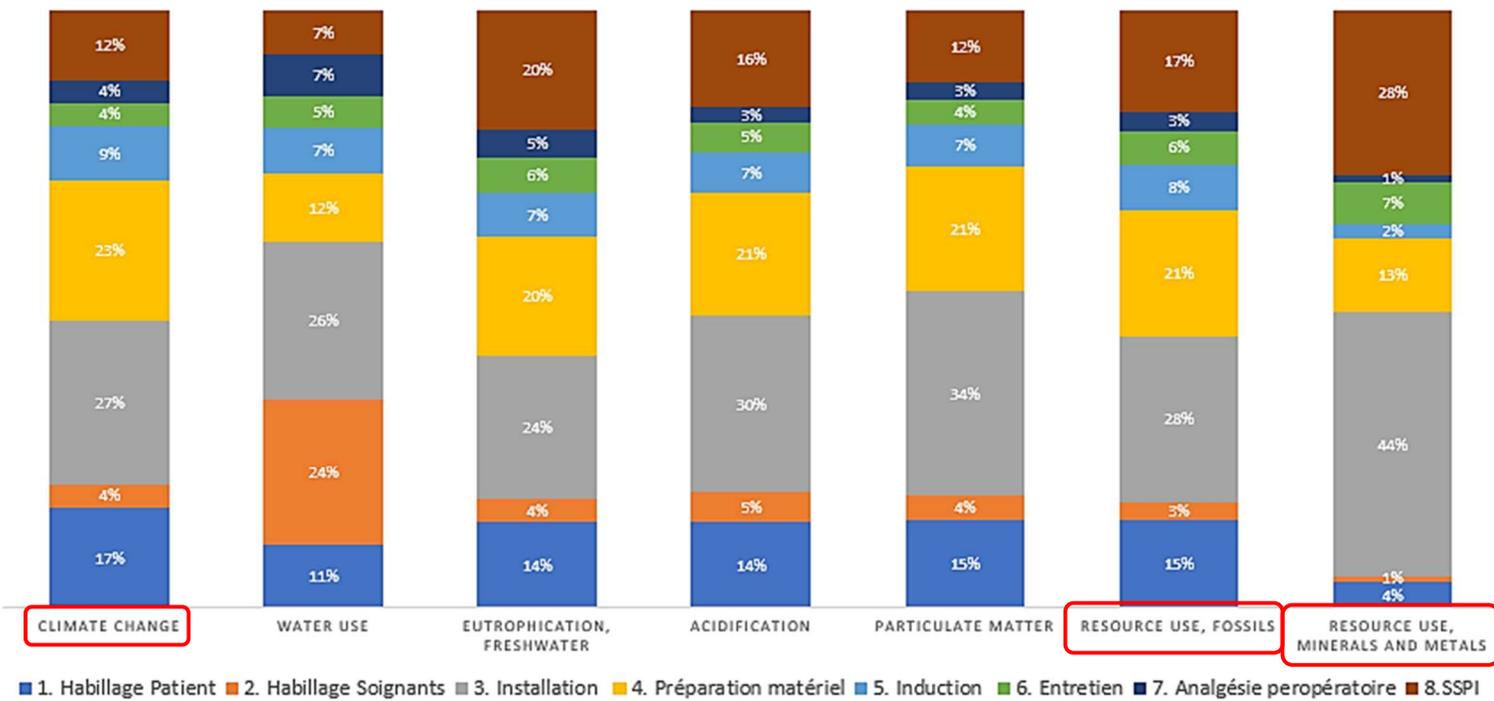
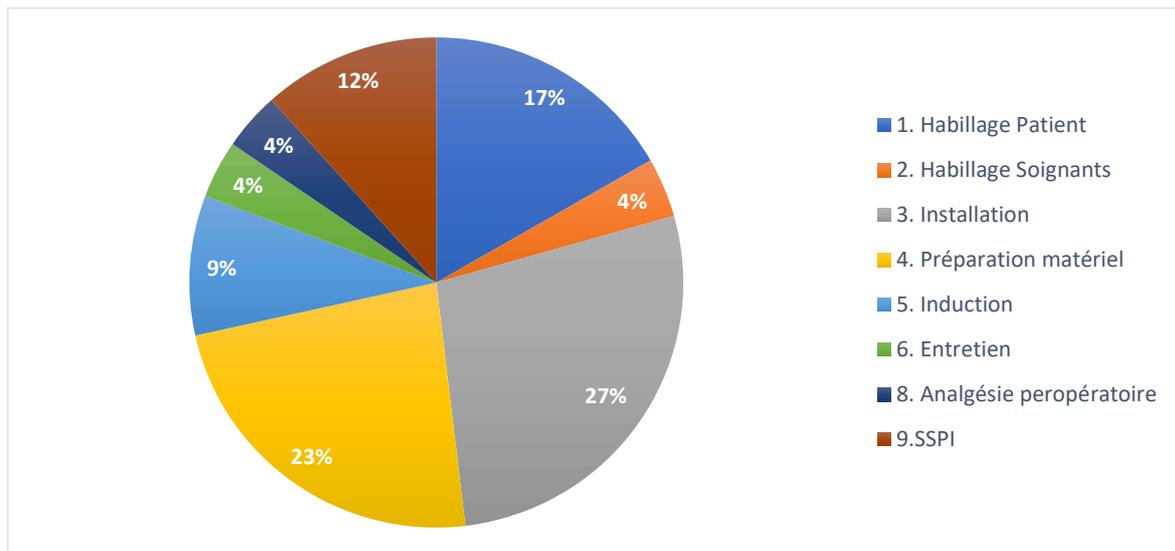


Figure 19 : Répartition des impacts relatifs (en %) des étapes de la RA selon la catégorie d'impact considérée, en rouge les catégories d'impacts présentées dans la suite des résultats

## 2. Description des étapes de la RA les plus impactantes



*Figure 20 : Répartition des impacts relatifs (en %) des différentes étapes de la RA pour l'impact sur le changement climatique*

Les 3 étapes de la RA les plus impactantes pour le changement climatique sont : l'installation (27 %), la préparation du matériel (23 %) et l'habillage du patient (17 %) représentant 67 % de l'impact total (Figure 20).

### a. Installation du Patient

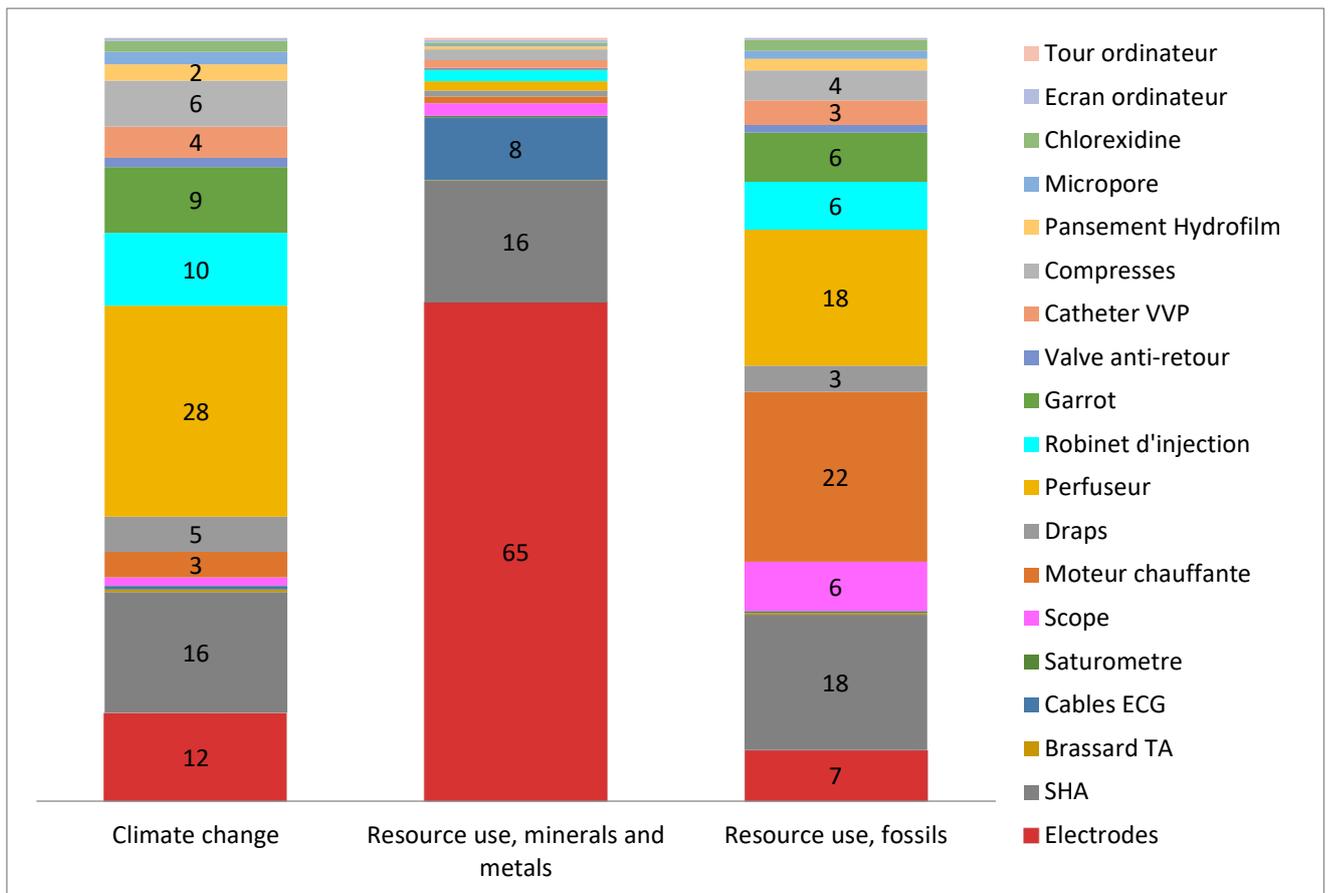


Figure 21 : Répartition de l'impact des DM (en DM) utilisés dans l'étape d'installation des patients selon la catégorie d'impact considérée.

Si on considère la catégorie du changement climatique, alors l'installation du patient représente l'émission de 1.26 kgCO<sub>2</sub>eq, soit 27 % de l'impact total de la RA.

L'origine de l'impact de cette étape est principalement liée à la matière première des DM utilisés, à savoir la présence de métal dans les électrodes à usage unique et dans les câbles de monitoring, ainsi que tous les polymères de plastique qui composent les DM (Figure 21).

## b. Préparation du matériel

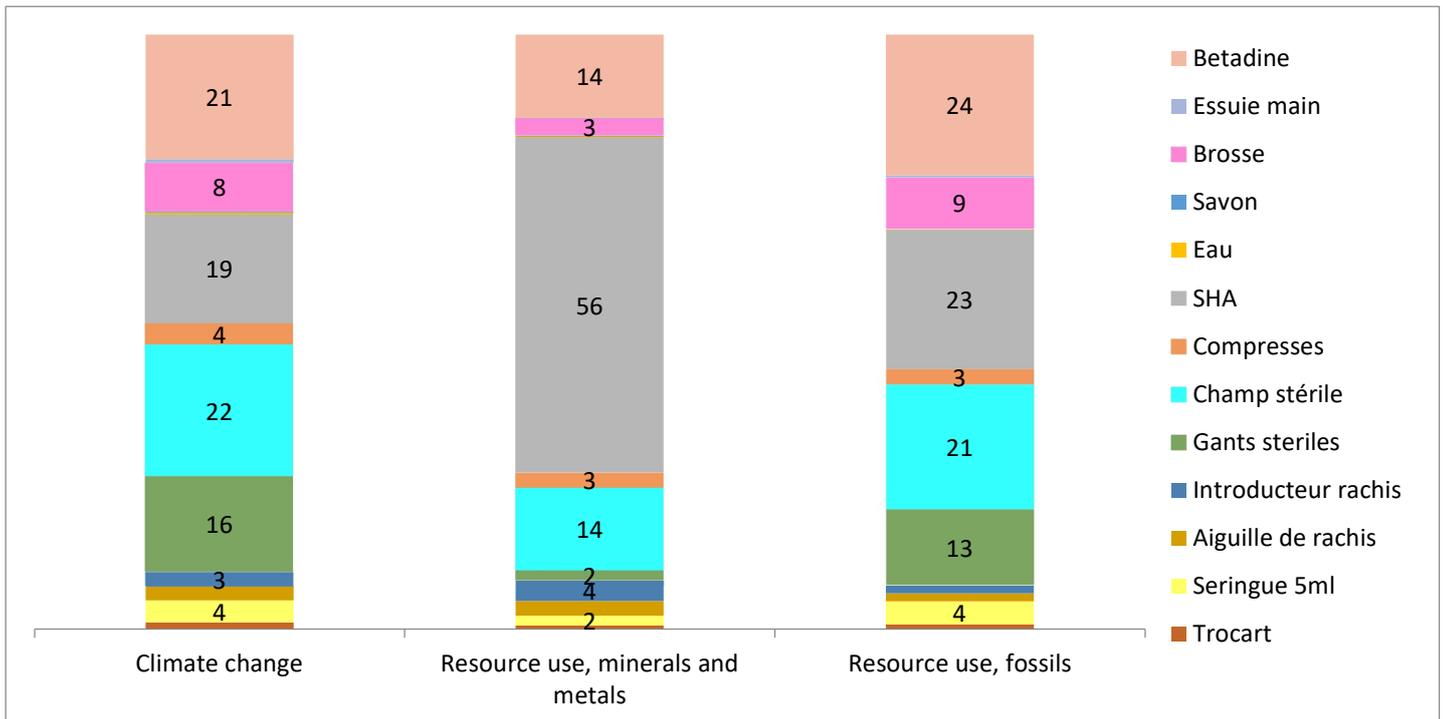
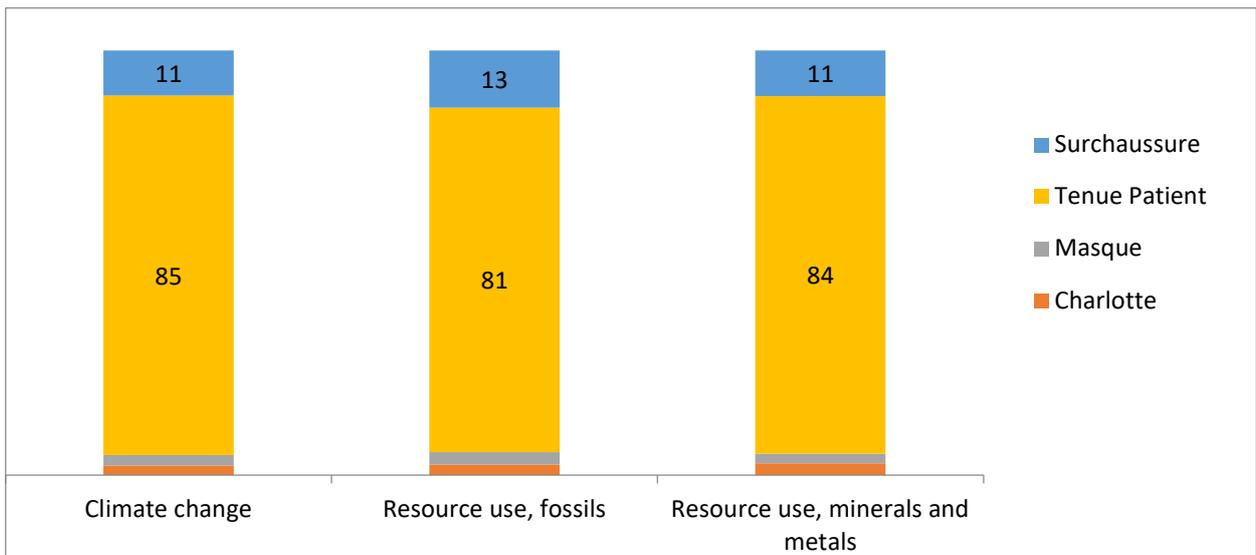


Figure 22: Répartition de l'impact des DM (en %) utilisés pour la préparation du matériel de la RA selon la catégorie d'impact considérée

Si on considère la catégorie d'impact sur le changement climatique, alors la préparation du matériel représente l'émission de 1.07 kgCO<sub>2</sub> eq, soit 23 % de l'impact climatique totale de la RA.

La majorité de l'impact de cette étape est liée à la synthèse d'éthanol, contenu dans le SHA et la Bétadine, ainsi que la fabrication des polymères du plastique qui compose les DM à usage unique et le champ stérile (Figure 22).

### c. Habillage du patient



*Figure 23 : Répartition de l'impact des DM (en%) utilisés pour l'habillement des patients selon la catégorie d'impact considérée*

La tenue du patient à usage unique est responsable de la production de 0.64 kgCO<sub>2</sub> eq. La majorité de l'origine de cet impact est liée à la fabrication à partir d'une matière dérivée du pétrole (Figure 23).

# Discussion

## I. Rappels des principaux résultats

Les résultats de cette étude nous permettent d'apporter des informations intéressantes en termes d'écoconception des soins en anesthésie.

Pour tous les indicateurs évalués l'impact environnemental de la RA est plus faible que celui de l'anesthésie générale, avec une réduction comprise entre 31% et 89% selon les catégories considérées.

Notre ACV a permis d'identifier les catégories d'impact environnemental les plus significatives pour l'anesthésie, à savoir son impact sur le changement climatique et sur l'épuisement des ressources minérales, métalliques et fossiles.

Lors d'une AG de courte durée, l'impact environnemental de l'utilisation d'un masque laryngé est plus faible que celui du recours à l'intubation.

Si on s'intéresse plus particulièrement au changement climatique, seule catégorie pour laquelle il existe des objectifs nationaux et européens de réduction, alors l'impact de la RA représente 35% de celui de l'AG avec sonde d'intubation, et 42 % de celui de l'AG avec masque laryngé.

La majorité de l'impact carbone de l'AG est liée à l'utilisation de sevoflurane, responsable de 27 % de l'impact de l'AG, et aux dispositifs à usage unique utilisés pour la gestion des voies aériennes (lame de laryngoscope, sonde d'intubation ou masque laryngé).

## **II. Forces et limites de l'étude et de la méthodologie**

### **A. Forces :**

Notre étude présente plusieurs forces :

C'est une étude prospective, qui se rapproche au maximum de la réalité de la pratique clinique, en termes de collecte de la nature et de la quantité des dispositifs et des médicaments utilisés. La pratique de l'AG inhalatoire dans notre population est conforme aux recommandations de bonnes pratiques pour la réduction de l'impact environnemental, avec une utilisation de sevoflurane, délivré avec le plus faible débit de gaz frais possible sans protoxyde d'azote.

A notre connaissance c'est la première étude en France comparant l'anesthésie générale et la rachianesthésie en utilisant la méthode de l'analyse en cycle de vie, elle permet donc d'analyser l'ensemble des dommages environnementaux potentiels qui n'étaient pas explorés jusqu'ici, en incluant d'autres impacts que celui sur le changement climatique qui est prépondérant actuellement dans la littérature.

Notre étude utilise une méthode de comparaison robuste qui est la méthode de référence en Europe, mise en avant dans les recommandations de bonnes pratiques des sociétés savantes d'anesthésie.

## **B. Limites**

Notre étude présente les limites suivantes :

### **1. Manque de puissance : défaut d'inclusion dans le groupe RA**

13 patients seulement ont été inclus dans l'étude. Ce nombre est certes limité mais il y a eu peu de variabilité sur la nature et les quantités de DM utilisés entre les patients qui ont été inclus. Dans le groupe RA, il y a une certaine variabilité du temps passé en salle de réveil, qui dépend surtout de la durée de la levée du bloc moteur.

Le problème de recrutement est lié à une indisponibilité du logiciel de recueil pendant une partie de la durée d'inclusion, indépendante des investigateurs.

Dans la littérature comparant l'impact environnemental de plusieurs techniques d'anesthésie il y a une dizaine de patients par groupe, mais il n'y a pas de données de calcul a priori de l'effectif nécessaire, ni d'indication sur la taille de la différence à mettre en évidence qui serait considérée comme significative.

### **2. Manque de données pour le calcul des impacts des médicaments et des DM**

Les données concernant la fabrication et le transport et le lieu de fabrication des médicaments sont lacunaires. Il n'y a pas d'obligation réglementaire concernant la mention du lieu de production d'un médicament, ni sur les étapes de synthèse, qui sont souvent protégées par des brevets. Selon un cabinet d'experts, 60 à 80 % des principes actifs utilisés en Europe seraient fabriqués en Chine et en Inde<sup>50</sup>, où les coûts de fabrication sont moindres et la réglementation environnementale moins contraignante. Devant ce manque relatif de données, le calcul de l'impact des médicaments dans notre ACV peut donc être sous-estimé.

Il est parfois difficile de déterminer la provenance exacte des DM, la seule information mentionnée sur les étiquettes étant quelques fois le siège social et non le lieu de fabrication. Par exemple la lame de laryngoscope n'étant très probablement pas fabriquée en France, son impact lié au transport est peut-être sous-estimé. Néanmoins la part du transport de son lieu de production à son lieu d'utilisation dans l'impact global du DM est faible : il dépend du poids du DM, qui est rapporté à la capacité totale (en kg ou m<sup>3</sup>) du mode de transport, ensuite multiplié par l'impact du mode de transport.

### **3. Inventaires des données : certaines ont été mesurées (bottom-up) d'autres extrapolés (top-down).**

Malgré le caractère prospectif du recueil de données, certains DM ont pu être oubliés ou mal comptés en fonction du moment de l'intervention où le eCRF a été rempli.

Tous les dossiers ont été réouverts à posteriori pour vérifier les données et améliorer leur fiabilité.

Les données sur la consommation d'électricité des appareils ont été extrapolées et non mesurées.

Les données sur le poids de la poubelle de DAOM en fin d'intervention sont très variables, même si les quantités de DM utilisés ne sont pas très différentes. Cela peut s'expliquer par le fait que nous n'avons pas pu vérifier si la poubelle était bien vide avant le début de l'intervention.

### **4. Incertitude et méthode d'identification des impacts significatifs**

Le calcul des impacts est sujet à une incertitude liée à la robustesse des données renseignées pour le calculer. Certaines données sont primaires, c'est-à-dire issues d'une pesée objective ou de la fiche technique du fabricant par exemple, d'autres

données sont secondaires, c'est-à-dire issues d'hypothèses ou alors de données de la bibliographie (ACV précédemment publiées par exemple). Il n'y a pas de manière simple et validée de décrire cette incertitude.

La méthode d'identification des catégories d'impact les plus significatives utilisée est celle qui est décrite dans la méthode PEF.

### **5. Limites liées à la méthode**

La méthode de l'ACV est complexe, et sa réalisation nécessite la maîtrise de compétences éloignées de la pratique quotidienne de l'anesthésie ainsi que l'accès à des logiciels et des bases de données qui est payant. Cette méthode est coûteuse et réalisée uniquement avec le concours de cabinets spécialisés, ce qui limite son utilisation. Les résultats sont parfois difficiles à interpréter et à généraliser parce qu'ils dépendent du contexte local, notamment en ce qui concerne le mode de production de l'électricité consommée.

### **III. Discussion des résultats**

Nos résultats qui mettent en évidence l'impact environnemental plus faible de la RA par rapport à celui de l'AG vont dans un sens comparable à celui des études ayant précédemment comparé le bilan carbone de ces deux techniques. Ils permettent d'explorer l'impact environnemental de nos pratiques en étudiant d'autres impacts jusque-là peu explorés. Notre étude permet de mettre en avant le potentiel important de gain en termes d'impact environnemental de la RA.

La démonstration de l'impact environnemental moindre de la RA par rapport à celui de l'AG appuie les recommandations de toutes les sociétés savantes d'anesthésie qui proposent de privilégier l'anesthésie loco-régionale quand cela est possible.

La grande différence d'impact observée entre l'AG et la RA est expliquée en partie par l'utilisation de gaz halogéné. Même avec des durées opératoires courtes (11 minutes en moyenne), nous arrivons à montrer une différence d'impact importante entre les deux techniques. Etant donné qu'un quart de l'impact est lié à l'utilisation de sevoflurane, il est possible qu'avec des chirurgies plus longues cette différence soit encore plus importante, du fait de l'augmentation de la quantité de sevoflurane délivrée, sans changement majeur de la quantité ou de la nature des drogues utilisées pour induire la RA.

Le reste de la différence d'impact est lié à l'utilisation de plus de dispositifs médicaux dans l'AG, dont la majorité sont à usage unique.

La RA peut être notamment envisagée dans un certain nombre de type d'intervention : la chirurgie urologique, gynécologique, orthopédique et traumatologique, certaines chirurgies digestives et proctologique. Notre comparaison est donc pertinente par rapport à la réalité de la pratique de l'anesthésie au quotidien, et au regard du potentiel d'amélioration de son impact environnemental.

## **IV. Démarche d'écoconception des soins : pistes pour réduire l'impact de l'anesthésie**

L'analyse des étapes de l'anesthésie comprenant les médicaments ou les DM les plus impactants sur le plan environnemental nous permet d'identifier des axes d'améliorations et donc de s'engager dans une démarche d'écoconception des soins, en discernant les actions à entreprendre pour réduire l'impact environnemental.

### **A. Choix de la technique d'anesthésie**

Lorsque les deux techniques sont envisageables, en préservant la qualité et la sécurité des soins, il paraît légitime de promouvoir la pratique de la RA qui présente un impact carbone 3 fois inférieur à celui de l'AG. Cette étude permet de justifier l'intégration de critères écologiques au moment du choix de la technique d'anesthésie.

Quand on laisse le choix aux patients sur la technique d'anesthésie ils choisissent souvent l'AG<sup>51</sup>, en partie par peur de l'autre technique, à cause de leur niveau de stress et d'anxiété et en envisageant leur confort. Pour les patients qui ont choisi la RA, plus d'un quart le font à cause de la qualité du réveil et de la récupération et 99,7% des patients qui avaient choisi cette technique en sont satisfaits. La question se pose donc d'améliorer l'acceptabilité de la technique pour généraliser son utilisation. On pourrait envisager une légère sédation (par voie intra-veineuse ou en prémédication), ou alors la généralisation des outils de réalité virtuelle pour améliorer le confort des patients. Ces éléments pourraient néanmoins augmenter l'impact environnemental qu'il faudrait alors évaluer.

### **B. Focus sur le Sevoflurane**

Un quart de l'impact carbone de l'AG est lié à l'utilisation de sevoflurane. Au-delà de suivre les recommandations pour limiter les quantités de gaz administrées, une des

pistes pour réduire l'impact environnemental de ce gaz pourrait être les techniques de recapture (VCT ou Volatile Capture Technology). Les dispositifs commercialisés actuellement sont constitués de filtres à base de charbon actif ou de silice, qui absorbent les halogénés qui sont expirés sans être métabolisés par les patients. Le gaz absorbé n'est donc pas émis dans l'atmosphère, et il pourrait même être recyclé et administré à de nouveaux patients. Il y a peu de données quant aux performances réelles de ces systèmes : in vitro<sup>52</sup> ils pourraient capturer jusqu'à 94,8 % du sevoflurane délivré, mais in vivo<sup>53</sup> c'est plutôt 45 % du sevoflurane délivré par le vaporisateur qui est absorbé, les pertes étant liées au gaz expiré par le patient après son extubation et à des fuites au niveau du ballonnet de la sonde d'intubation ou des connectiques entre les tuyaux. Néanmoins l'impact de la production, du transport et de l'élimination de ces dispositifs doit être mieux étudié<sup>54</sup>, en évaluant leurs cycles de vie et en les comparant avec d'autres techniques pouvant limiter l'impact environnemental de l'anesthésie.

Le débat sur la transition de l'anesthésie inhalatoire vers la TIVA persiste avec une étude récente réalisée à Marseille<sup>55</sup> qui comparait de façon rétrospective l'impact sur le changement climatique de la consommation d'hypnotique au bloc opératoire d'un hôpital utilisant une stratégie exclusive de TIVA et d'un hôpital avec une stratégie mixte (inhalatoire et TIVA). Les résultats retrouvent un impact sur le changement climatique qui est 20 fois inférieur par intervention réalisée dans l'hôpital à la stratégie d'anesthésie exclusive par TIVA. Cela souligne la nécessité d'évaluer l'impact de ces deux techniques de façon prospective, en s'intéressant également à la comparaison des autres impacts environnementaux potentiels. Il faut noter que les données disponibles aujourd'hui considèrent surtout la production de GES<sup>56</sup> lié à son

utilisation, sans vraiment considérer les autres impacts environnementaux notamment ceux liés à son potentiel d'écotoxicité.

### **C. Choix des dispositifs médicaux**

Lorsque cela est possible il semble préférable de choisir d'utiliser un masque laryngé plutôt qu'une sonde d'intubation.

#### **1. lame de laryngoscope**

La lame de laryngoscope en métal à usage unique représente 1/13<sup>ème</sup> de l'impact de l'AG avec intubation, l'alternative pourrait être une lame à usage multiple. Les deux études<sup>57,58</sup> qui ont comparé ces deux possibilités concluent à un impact moindre de la lame réutilisable. L'ACV publiée par N. Rouvière et al, réalisée en France<sup>58</sup> en 2021, retrouvait une réduction de l'impact de la lame réutilisable par rapport à son équivalent à usage unique compris entre 1.43 et 1.54 kg CO2 eq par intubation, l'impact était également plus faible sur les autres indicateurs de l'ACV considérés. De plus le coût par intubation avec la lame réutilisable était inférieur de 0.35 €.

#### **2. Masque laryngé**

On pourrait aussi envisager les masques laryngés réutilisables.

On peut notamment s'appuyer sur un travail<sup>59</sup>, réalisé en Suède en 2019 qui compare le cycle de vie d'un masque laryngé à usage unique en PVC avec celui d'un ML réutilisable en silicone, en projetant 40 utilisations pour ce dernier, comme recommandé par le fabricant et un nettoyage par le biais de l'immersion prolongée dans un détergent. L'impact du ML réutilisable était bien inférieur à celui du ML à UU pour la grande majorité des catégories d'impact considérées, en réduisant par exemple l'impact sur le changement climatique de plus de 90 %.

### **3. Textile au bloc opératoire**

Concernant le textile du bloc opératoire, dans notre étude les patients portent des tenues à usage unique, mais elles présentent un impact<sup>60</sup> environ 30 % plus important que leur alternative réutilisable. Les recommandations<sup>61</sup> (SFAR et Société Française d'Hygiène Hospitalière) concernant la tenue des soignants au bloc opératoire privilégient d'ailleurs une tenue et un calot réutilisables. Le champ opératoire utilisé lors de la RA pourrait lui aussi être réutilisable parce qu'il pourrait<sup>62</sup> réduire l'impact sur le réchauffement climatique (de 200 à 300%), la consommation d'énergie (de 200 à 300%) ou encore la production de déchets (de 750%) par rapport à son équivalent à usage unique. Ces choix supposent une infrastructure de blanchisserie adaptée.

### **D. Plastiques et Déchets**

L'anesthésie générale est responsable d'une utilisation importante de DM à usage unique. Pour l'AG avec intubation c'est au moins 47 DM à usage unique qui sont utilisés, avec au moins 81% qui sont fabriqués à partir de différents types de plastiques. La synthèse du plastique induit une extraction de ressources fossiles et elle présente également un impact sur le changement climatique.

Cet usage intensif de plastique pourrait également exposer les patients à des substances classées comme perturbateurs endocriniens, par les interactions entre le contenant et le contenu. On peut par exemple citer<sup>63</sup> les molécules (Diethylhexyl Phtalate ou DEHP) utilisées pour rigidifier le PVC, qui compose notamment le perfuseur, la sonde d'intubation ou encore le masque laryngé.

De plus, ils génèrent une quantité importante de déchets, qui ne se dégradent pas et qui engendrent également un impact environnemental et une pollution durable.

Les recommandations<sup>36</sup> de l'ESAIC soulignent l'importance de la règle des 5R concernant les déchets, à savoir : Refuser, Réduire, Réutiliser, Recycler, Rendre à la terre.

## **V. Autres impacts analysés**

Notre étude souligne que nos pratiques ont un impact environnemental plus large que celui sur le changement climatique, à commencer par l'importance de l'impact sur la raréfaction des ressources fossiles, minérales et métalliques.

Ces ressources naturelles ne sont pas renouvelables et la recherche<sup>64</sup> s'intéresse de plus en plus à la perspective d'un épuisement de ces ressources, sans politique de limitation de leur utilisation et de recyclage efficace pour en limiter l'extraction.

Souvent lorsqu'un DM a un fort impact sur une catégorie de dommage donnée il en présente également un sur les autres catégories. On pourrait donc imaginer qu'améliorer un des impacts permet également d'améliorer les autres. Il faut néanmoins se méfier de la notion de glissement d'impact, à savoir l'amélioration d'un impact environnemental au détriment d'un ou plusieurs autre(s). Cela souligne la nécessité d'une évaluation rigoureuse des changements de pratique, pour ne pas méconnaître le danger de remplacer une méthode qui est impactante de façon démontrée par une autre méthode d'apparence moins impactante mais aussi moins étudiée, ce qui entraînerait des conséquences inattendues. Cela permet aussi de se préoccuper des spécificités locales, car toute mesure corrective mise en place n'a pas forcément les mêmes conséquences en fonction de la région où elle est implémentée.

## **VI. Suites donner à notre étude**

Concernant les suites à donner à notre étude : il semble essentiel d'identifier les indications où la RA peut être réalisée à la place d'une AG, dans le respect de la qualité et de la sécurité des soins, c'est-à-dire en améliorant sa tolérance pour le patient. Puis d'élaborer des stratégies de sensibilisation et de formation des professionnels de santé, et d'information des usagers. Il faudrait également réaliser des études s'intéressant aux raisons qui motivent le choix d'une technique par rapport à une autre et à la satisfaction des différents protagonistes (patients et praticiens).

Il serait également pertinent de refaire l'ACV après avoir réfléchi à l'écoconception du parcours de soins au bloc opératoire des urgences du CHU et mis en place tout ou une partie des modifications suggérées plus haut (avec notamment une comparaison entre anesthésie inhalatoire et TIVA) pour évaluer les gains réalisés, et éventuellement l'apparition de nouveaux impacts environnementaux que l'on n'aurait pas prévus.

Nos résultats permettent également de déterminer les catégories d'impact environnemental qu'il serait pertinent d'évaluer dans de futures études, et sur lesquels il faudrait concentrer les efforts de réduction, à savoir le changement climatique et l'épuisement des ressources minérales, métalliques et fossiles.

## Conclusion

Notre étude permet de montrer que l'impact environnemental de la rachianesthésie est très inférieur à celui l'anesthésie générale inhalatoire pour toutes les catégories de dommage environnemental considérées dans notre analyse en cycle de vie.

Nos résultats corroborent les recommandations de toutes les sociétés savantes d'anesthésie qui préconise de privilégier l'anesthésie loco-régionale quand cela est possible, et ils laissent envisager un gain potentiel important sur le plan de l'impact environnemental.

Les principaux impacts environnementaux de l'anesthésie concernent le changement climatique et l'épuisement des ressources minérales, métalliques et fossiles.

Notre étude permet également d'évoquer des pistes d'amélioration de l'impact de l'anesthésie générale quand elle est nécessaire, afin de s'engager dans une démarche d'écoconception des soins.

Un des moyens de réduire l'impact de l'anesthésie pourrait être de privilégier les dispositifs médicaux réutilisables, dont l'impact environnemental et économique semble plus faible que les dispositifs à usage unique dans la majorité des études où ils sont étudiés. En cas d'anesthésie générale, il paraît préférable d'utiliser un masque laryngé plutôt qu'une sonde d'intubation quand c'est possible.

Elle invite plus largement les praticiens à intégrer le critère écologique dans les prises de décisions thérapeutiques devant l'impératif de préservation et de promotion de la santé dans toutes ses formes pour les générations actuelles et futures.

## Bibliographie

1. 6<sup>e</sup> Rapport du GIEC PDF
2. Global Climate Highlight 2024 Copernicus Climate Service PDF
3. notre-environnement. Qu'est-ce qu'un gaz à effet de serre ? *notre-environnement*  
<https://www.notre-environnement.gouv.fr/> (2025).
4. Accord de Paris 2015 PDF.
5. Suivi des émissions de gaz à effet de serre | Ministères Aménagement du territoire Transition écologique. <https://www.ecologie.gouv.fr/politiques-publiques/suivi-emissions-gaz-effet-serre>.
6. Qu'est-ce que la neutralité carbone et comment l'atteindre d'ici 2050 ? *Thèmes | Parlement européen*  
<https://www.europarl.europa.eu/topics/fr/article/20190926STO62270/qu-est-ce-que-la-neutralite-carbone-et-comment-l-atteindre-d-ici-2050> (2019).
7. Romanello, M. *et al.* The 2024 report of the Lancet Countdown on health and climate change: facing record-breaking threats from delayed action. *The Lancet* **404**, 1847–1896 (2024).
8. Chambers, J. Global and cross-country analysis of exposure of vulnerable populations to heatwaves from 1980 to 2018. *Clim. Change* **163**, 539–558 (2020).
9. Ebi, K. L. *et al.* Hot weather and heat extremes: health risks. *The Lancet* **398**, 698–708 (2021).
10. Cheng, J. *et al.* Heatwave and elderly mortality: An evaluation of death burden and health costs considering short-term mortality displacement. *Environ. Int.* **115**, 334–342 (2018).

11. Alahmad, B. *et al.* Associations Between Extreme Temperatures and Cardiovascular Cause-Specific Mortality: Results From 27 Countries. *Circulation* **147**, 35–46 (2023).
12. Dasgupta, S. & Robinson, E. J. Z. Attributing changes in food insecurity to a changing climate. *Sci. Rep.* **12**, 4709 (2022).
13. Caminade, C., McIntyre, K. M. & Jones, A. E. Impact of recent and future climate change on vector-borne diseases. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* **1436**, 157–173 (2019).
14. Lawrance, E. L., Thompson, R., Newberry Le Vay, J., Page, L. & Jennings, N. The Impact of Climate Change on Mental Health and Emotional Wellbeing: A Narrative Review of Current Evidence, and its Implications. *Int. Rev. Psychiatry* **34**, 443–498 (2022).
15. Le changement climatique et la santé : façonner un avenir résilient.  
<https://www.who.int/europe/fr/news-room/events/item/2025/02/28/default-calendar/climate-change-and-health-shaping-a-resilient-future>.
16. World Health Organization. *Quantitative Risk Assessment of the Effects of Climate Change on Selected Causes of Death, 2030s and 2050s*. (World Health Organization, Geneva, 2014).
17. L’OMS demande instamment d’inclure d’urgence la santé dans les négociations sur le climat en vue de la COP29. <https://www.who.int/fr/news/item/07-11-2024-who-demands-urgent-integration-of-health-in--climate-negotiations-ahead-of-cop29>.
18. Organisation mondiale de la Santé. *Cadre opérationnel pour renforcer la résilience des systèmes de santé face au changement climatique*. (Organisation mondiale de la Santé, Genève, 2016).
19. Rapport Final Santé The Shift Project18 04 23 v2 PDF

20. Pichler, P.-P., Jaccard, I. S., Weisz, U. & Weisz, H. International comparison of health care carbon footprints. *Environ. Res. Lett.* **14**, 064004 (2019).
21. HealthCaresClimateFootprint\_092319.pdf.
22. Lenzen, M. *et al.* The environmental footprint of health care: a global assessment. *Lancet Planet. Health* **4**, e271–e279 (2020).
23. MacNeill, A. J., Lillywhite, R. & Brown, C. J. The impact of surgery on global climate: a carbon footprinting study of operating theatres in three health systems. *Lancet Planet. Health* **1**, e381–e388 (2017).
24. Code de déontologie de l'Ordre des Médecins
25. planification-ecologique-du-systeme-de-sante-feuille-de-route-mai-2023.pdf.
26. Varughese, S. & Ahmed, R. Environmental and Occupational Considerations of Anesthesia: A Narrative Review and Update. *Anesth. Analg.* **133**, 826 (2021).
27. McGain, F., Muret, J., Lawson, C. & Sherman, J. D. Environmental sustainability in anaesthesia and critical care. *Br. J. Anaesth.* **125**, 680–692 (2020).
28. Ryan, S. M. & Nielsen, C. J. Global Warming Potential of Inhaled Anesthetics: Application to Clinical Use. *Anesth. Analg.* **111**, 92 (2010).
29. Hanna, M. & Bryson, G. L. A long way to go: minimizing the carbon footprint from anesthetic gases. *Can. J. Anesth. Can. Anesth.* **66**, 838–839 (2019).
30. Nitrous Oxide (N<sub>2</sub>O): The Dominant Ozone-Depleting Substance Emitted in the 21st Century | Science. <https://www-science-org.ressources-electroniques.univ-lille.fr/doi/10.1126/science.1176985>.
31. Sherman, J., Le, C., Lamers, V. & Eckelman, M. Life Cycle Greenhouse Gas Emissions of Anesthetic Drugs. *Anesth. Analg.* **114**, 1086 (2012).

32. Tang, M. S. S., McGain, F., Bramley, D. E., Sheridan, N. M. & Seglenieks, R. Evaluation of propofol wastage and disposal in routine anesthesia care. *Anaesth. Intensive Care* **51**, 152–154 (2023).
33. Lane, S. F. The environmental sustainability of propofol use in daily practice. *Br. J. Anaesth.* **124**, e221–e222 (2020).
34. Wang, A. Y. *et al.* Assessing the Environmental Carbon Footprint of Spinal versus General Anesthesia in Single-Level Transforaminal Lumbar Interbody Fusions. *World Neurosurg.* **163**, e199–e206 (2022).
35. McGain, F. *et al.* Carbon Footprint of General, Regional, and Combined Anesthesia for Total Knee Replacements. *Anesthesiology* **135**, 976–991 (2021).
36. Buhre, W., De Robertis, E. & Gonzalez-Pizarro, P. The Glasgow declaration on sustainability in Anaesthesiology and Intensive Care. *Eur. J. Anaesthesiol. EJA* **40**, 461 (2023).
37. Greening the Operating Room (OR) and Perioperative Arena.  
<https://www.asahq.org/about-asa/governance-and-committees/asa-committees/environmental-sustainability/greening-the-operating-room>.
38. McGain, F. *et al.* Why be sustainable? The Australian and New Zealand College of Anaesthetists Professional Document PS64: Statement on Environmental Sustainability in Anaesthesia and Pain Medicine Practice and its accompanying background paper. *Anaesth. Intensive Care* **47**, 413–422 (2019).
39. [reduction-de-limpact-environnemental-de-lanesthesie-generale.pdf](#). SFAR 2021
40. Seglenieks, R., Wong, A., Pearson, F. & McGain, F. Discrepancy between procurement and clinical use of nitrous oxide: waste not, want not. *Br. J. Anaesth.* **128**, e32–e34 (2022).

41. Schmittner, M. D. *et al.* Randomized clinical trial of perianal surgery performed under spinal saddle block versus total intravenous anaesthesia. *Br. J. Surg.* **97**, 12–20 (2010).
42. Schmittner, M. D. *et al.* Randomised clinical trial of pilonidal sinus operations performed in the prone position under spinal anaesthesia with hyperbaric bupivacaine 0.5 % versus total intravenous anaesthesia. *Int. J. Colorectal Dis.* **28**, 873–880 (2013).
43. Peterson, K. J. *et al.* Saddle block anesthetic technique for benign outpatient anorectal surgery. *Surgery* **171**, 615–620 (2022).
44. Schubert, A.-K., Wiesmann, T., Wulf, H. & Dinges, H.-C. Spinal anesthesia in ambulatory surgery. *Best Pract. Res. Clin. Anaesthesiol.* **37**, 109–121 (2023).
45. ISO 14040:2006. ISO <https://www.iso.org/fr/standard/37456.html>.
46. ISO 14044:2006. ISO <https://www.iso.org/standard/38498.html>.
47. LEX PEF Methode Francais.pdf.
48. Parvatker, A. G. *et al.* Cradle-to-Gate Greenhouse Gas Emissions for Twenty Anesthetic Active Pharmaceutical Ingredients Based on Process Scale-Up and Process Design Calculations. *ACS Sustain. Chem. Eng.* **7**, 6580–6591 (2019).
49. Hu, X., Pierce, J. T., Taylor, T. & Morrissey, K. The carbon footprint of general anaesthetics: A case study in the UK. *Resour. Conserv. Recycl.* **167**, 105411 (2021).
50. 20210730\_-\_sicos\_leem\_gemme\_-\_  
\_etude\_des\_vulnerabilites\_dapprovisionnement\_en\_apis\_pour\_lindustrie\_pharm  
aceutique\_europeenne\_-\_rapport\_final\_fr\_20210907.pdf.

51. Capdevila, X. *et al.* Factors Determining the Choice of Spinal Versus General Anesthesia in Patients Undergoing Ambulatory Surgery: Results of a Multicenter Observational Study. *Adv. Ther.* **37**, 527–540 (2020).
52. Vaghela, M., Kay, R. H., Jones, L. & Greig, P. Inhalational anaesthetics: an assessment of agent delivery and capture. *Anaesthesia* **78**, 784–785 (2023).
53. Efficiency of CONTRAfluran™ in reducing sevoflurane pollution from maintenance anaesthesia in minimal flow end-tidal control mode for laparoscopic surgery - Mulier - 2024 - Anaesthesia - Wiley Online Library.  
<https://associationofanaesthetists-publications-onlinelibrary-wiley-com.ressources-electroniques.univ-lille.fr/doi/full/10.1111/anae.16289>.
54. Volatile capture technology in sustainable anaesthetic practice: a narrative review. doi:10.1111/anae.16207.
55. Bernat, M. *et al.* Reducing the carbon footprint of general anaesthesia: a comparison of total intravenous anaesthesia vs. a mixed anaesthetic strategy in 47,157 adult patients. *Anaesthesia* **79**, 309–317 (2024).
56. Jabaudon, M., Vallabh, B., Bacher, H. P., Badenes, R. & Kehl, F. Balancing patient needs with environmental impacts for best practices in general anesthesia: Narrative review and clinical perspective. *Anaesth. Crit. Care Pain Med.* **43**, 101389 (2024).
57. Sherman, J. D., Raibley, L. A. I. & Eckelman, M. J. Life Cycle Assessment and Costing Methods for Device Procurement: Comparing Reusable and Single-Use Disposable Laryngoscopes. *Anesth. Analg.* **127**, 434 (2018).
58. Rouvière, N. *et al.* Reusable laryngoscope blades: a more eco-responsible and cost-effective alternative. *Anaesth. Crit. Care Pain Med.* **42**, 101276 (2023).

59. Liang, G. & Thesis, M. Life Cycle Assessment of Disposable and Reusable Laryngeal Mask Airway in Skånevård Sund.
60. Burguburu, A. *et al.* Comparative life cycle assessment of reusable and disposable scrub suits used in hospital operating rooms. *Clean. Environ. Syst.* **4**, 100068 (2022).
61. Hafiani, E.-M. *et al.* Tenue vestimentaire au bloc opératoire 2021. *Anesth. Réanimation* **8**, 641–653 (2022).
62. Overcash, M. A Comparison of Reusable and Disposable Perioperative Textiles: Sustainability State-of-the-Art 2012. *Anesth. Analg.* **114**, 1055 (2012).
63. Bernard, L. *et al.* Medical devices used in NICU: The main source of plasticisers' exposure of newborns. *Sci. Total Environ.* **858**, 159994 (2023).
64. Kang, X., Wang, M., Lin, J. & Li, X. Trends and status in resources security, ecological stability, and sustainable development research: a systematic analysis. *Environ. Sci. Pollut. Res.* **29**, 50192–50207 (2022).

## Tables des Tableaux

Tableau 1: Principales caractéristiques des patients inclus.....	36
Tableau 2 : Comparaison des temps moyens des deux anesthésies.....	37
Tableau 3 : Résumé des caractéristiques des DM utilisés pour l’anesthésie, et leurs allocations, selon les étapes.....	40
Tableau 4 : Résumé des médicaments utilisés pour l’anesthésie, avec leurs emballages, les quantités préparées moyennes et le pourcentage des interventions où ils ont été utilisés. ....	43
Tableau 5 : Résumé des appareils électroniques utilisés.....	44
Tableau 6 : Comparaison des résultats brutes des impacts environnementaux de l’AG avec IOT ou ML et de la RA selon la catégorie considérée.....	47
Tableau 7 : Calculs des impacts environnementaux si toutes les interventions avaient été réalisées avec la même technique d’anesthésie, et les impacts « économisés » par la RA par rapport à l’AG avec IOT et AG avec ML. ....	49
Tableau 8 : Comparaison des impacts de l’étape de gestion des voies aériennes selon l’utilisation d’un masque laryngé ou d’une sonde d’intubation.....	56

## Tables des Figures

Figure 1: Courbe de la température de la surface de la Terre .....	10
Figure 2 : Conséquences du réchauffement climatique sur la santé humaine.....	13
Figure 3 : Répartition des émissions du secteur de santé en France (en MtCO <sub>2</sub> ) ...	15
Figure 4 : Empreinte carbone du système de santé (HCF) en 2014, en valeur absolue, en tonnes de CO <sub>2</sub> par habitant et en pourcentage de l'empreinte carbone du pays.....	16
Figure 5 : Cycle de vie d'un produit .....	27
Figure 6 : Différents indicateurs de l'ACV selon la méthode PEF .....	29
Figure 7 : Etapes des anesthésies analysées lors de l'ACV.....	34
Figure 8 : Quantité moyenne de DM utilisée par scénario et par étape selon qu'il soit à usage unique ou à usage multiple .....	41
Figure 9: Indicateurs considérés comme les plus significatifs sur l'impact environnemental .....	45
Figure 10 : Comparaison (en %) des impacts environnementaux de l'AG avec IOT, de l'AG avec ML et de RA selon les catégories d'impact considérées.....	46
Figure 11 : Résultats du comparateur carbone de l'ADEME pour l'impact annuel de l'AG avec IOT si toutes les interventions étaient réalisées avec cette technique d'anesthésie .....	48
Figure 12 : Répartition des impacts environnementaux (en %) des étapes de l'AG avec IOT selon la catégorie d'impact considérée, en rouge les catégories d'impacts présentées dans la suite des résultats .....	51
Figure 13 : Répartition des impacts relatifs (en %) des différentes étapes de l'AG avec IOT pour l'impact sur le changement climatique .....	52
Figure 14 : Répartition de l'impact des DM (en %) utilisés pour l'entretien de l'AG selon les catégories d'impact environnemental considérées. ....	53
Figure 15 : Répartition de l'impact des DM utilisés (en %) pour la gestion des voies aériennes avec sonde d'intubation selon les catégories d'impact considérées. ....	54
Figure 16 : Répartition des impacts des DM (en %) utilisés pour l'étape de gestion des voies aériennes avec Masque Laryngé selon les catégories d'impact considérées. ....	55
Figure 17 : Comparaison (en %) de l'impact de l'étape de gestion des voies aériennes selon l'utilisation d'un ML ou d'une sonde d'IOT en fonction des catégories d'impact considérées.....	56
Figure 18 : Répartition des impacts des DM (en %) utilisés dans l'étape de réveil de l'AG selon la catégorie d'impact considérée .....	57
Figure 19 : Répartition des impacts (en %) des différentes étapes de la RA, selon les catégories d'impact considérées. En rouge les catégories d'impact présentées dans la suite des résultats.....	58
Figure 20 : Répartition des impacts relatifs (en %) des différentes étapes de la RA pour l'impact sur le changement climatique.....	59
Figure 21 : Répartition de l'impact des DM (en DM) utilisés dans l'étape d'installation des patients selon la catégorie d'impact considérée. ....	60
Figure 22: Répartition de l'impact des DM (en %) utilisés pour la préparation du matériel de la RA selon la catégorie d'impact considérée .....	61
Figure 23 : Répartition de l'impact des DM (en%) utilisés pour l'habillage des patients selon la catégorie d'impact considérée.....	62

# Annexes

## I. eCRF AG

Pré opératoire					
<b>Patient</b>					
Mois de naissance (en chiffres)	<input type="text"/>	Année de naissance	<input type="text"/>	Poids (kg) :	<input type="text"/>
Score ASA : <input type="text"/>	Antécédents notables :		<input type="checkbox"/> Insuffisance cardiaque avec FEVG altérée <input type="checkbox"/> Insuffisance respiratoire chronique sévère <input type="checkbox"/> Anticoagulation curative au long cours		
Tenue patient :	<input type="checkbox"/> Charlotte <input type="checkbox"/> Pyjama papier <input type="checkbox"/> Blouse papier <input type="checkbox"/> Blouse tissu <input type="checkbox"/> Surchaussures				
Tenues du personnel					
	Pyjama papier	Pyjama tissu	Calot papier	Calot tissu	Veste papier
MAR	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
IADE	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Interne	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Per-opératoire					
<b>Installation</b>					
Electrodes ECG : <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 5	Pansement(s) américain : (points d'appui)		<input type="radio"/> Oui <input type="radio"/> Non		
Couverture chauffante : <input type="radio"/> Oui <input type="radio"/> Non	reset		reset		
Modalité d'anesthésie choisie : <input checked="" type="radio"/> Anesthésie générale <input type="radio"/> Rachianesthésie <span style="float: right;">reset</span>					
Perfusion					
Patient déjà perfusé en arrivant :	<input type="radio"/> Oui <input type="radio"/> Non <span style="float: right;">reset</span>				
Paquet(s) de compresses :	<input type="text"/>	Paire(s) de gants en vicryl :		<input type="text"/>	
Induction					
<b>Nombre de seringue(s) utilisée(s) :</b>					
1 mL	2 mL	5 mL	10 mL	20 mL	60 mL
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<b>Compte des autres consommables :</b>					
Perfuseur(s)	<input type="text"/>	Robinet(s) d'injection :	<input type="text"/>		
Prolongateur(s) de SAP :	<input type="text"/>	Nombre de trocart(s) jaune(s) (19 G) :	<input type="text"/>		
Haricot(s) en carton :	<input type="text"/>	Plateau(x) en plastique :	<input type="text"/>		
<b>Hypnotiques</b>					
	Nombre d'ampoule(s) préparée(s)		Quantité administrée (en mg)		
Propofol (Diprivan) 10 mg/mL	<input type="text"/>		<input type="text"/>		
Midazolam (Hypnovel) 1mg/mL	<input type="text"/>		<input type="text"/>		
Kétamine 10 mg/mL	<input type="text"/>		<input type="text"/>		
Etomidate 2mg/mL	<input type="text"/>		<input type="text"/>		

<b>Opiacés</b>		
	Quantité préparée (en µg)	Quantité administrée (en µg)
Sufentanil	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Remifentanil (Ultiva)	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Alfentanil (Rapifen)	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<b>Anesthésiques locaux</b>		
	Quantité préparée (en mg)	Quantité administrée (en mg)
Lidocaïne IV (Xylocaïne)	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Lidocaïne 5% (Pulvérisation(s) sur cordes vocales)	<input type="text"/>	
Curarisation :	<input type="radio"/> Oui <input type="radio"/> Non	reset
Ventilation mécanique	<input checked="" type="radio"/> Oui <input type="radio"/> Non	reset
Taille masque(s) de ventilation: <input type="checkbox"/> S <input type="checkbox"/> M <input type="checkbox"/> L	Canule(s) de guedel : <input type="checkbox"/> Rouge <input type="checkbox"/> Jaune <input type="checkbox"/> Verte <input type="checkbox"/> Pas de canule	
Interface de contrôle des voies aériennes :	<input type="radio"/> Sonde d'intubation <input type="radio"/> Masque laryngé	reset
Entretien :	<input checked="" type="radio"/> Inhalatoire <input type="radio"/> Total IV	reset
Gaz utilisé(s) :	<input type="checkbox"/> Sevofluorane <input type="checkbox"/> Desflurane <input type="checkbox"/> Protoxyde d'azote	
Utilisation de vasopresseurs/ atropine ?	<input type="radio"/> Oui <input type="radio"/> Non	reset
<b>Antalgiques</b>		
		Quantité administrée
Paracétamol (en mg)		<input type="text"/>
Néfopam (Acupan) (en mg)		<input type="text"/>
Tramadol (Contramal) (en mg)		<input type="text"/>
<b>Antinauséux</b>		
		Quantité administrée (en mg)
Dexaméthasone		<input type="text"/>
Dropéridol		<input type="text"/>
Ondansetron (Zophren)		<input type="text"/>
Antibiotiques	<input type="radio"/> Oui <input type="radio"/> Non	reset
<b>Soluté(s) de perfusion (en nombre de poche)</b>		
Ringer Lactate (500 mL) :	<input type="text"/>	Plasmalyte (500mL) : <input type="text"/>
NaCl 0.9 %	20 mL : <input type="text"/>	50 mL : <input type="text"/>
	250 mL : <input type="text"/>	100 mL : <input type="text"/>
	500 mL : <input type="text"/>	
Gélofusine :	<input type="text"/>	
Administration d'oxygène après extubation :	<input type="radio"/> Oui <input type="radio"/> Non <small>Hors ventilation mécanique</small>	reset
Poids des déchets assimilables aux ordures ménagères (DAOM) :	<input type="text"/>	en kg
Temps d'occupation de la salle (en min)	<input type="text"/>	Temps opératoire (en min) : <input type="text"/>
Commentaire(s) libre(s) :	<input type="text"/>	

## II. eCRF RA

<b>Modalité d'anesthésie choisie :</b>		<input type="radio"/> Anesthésie générale	<input checked="" type="radio"/> Rachianesthésie	reset	
<b>Perfusion</b>					
Patient déjà perfusé en arrivant :		<input type="radio"/> Oui	<input type="radio"/> Non	reset	
Paquet(s) de compresses :	<input type="text"/>	Paire(s) de gants en vicryl :	<input type="text"/>		
<b>Induction</b>					
Nombre de seringue(s) utilisée(s) :					
1 mL	2 mL	5 mL	10 mL	20 mL	60 mL
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Compte des autres consommables :					
Perfuseur(s)	<input type="text"/>	Robinet(s) d'injection :	<input type="text"/>		
Prolongateur(s) de SAP :	<input type="text"/>	Nombre de trocart(s) jaune(s) (19 G) :	<input type="text"/>		
Haricot(s) en carton :	<input type="text"/>	Plateau(x) en plastique :	<input type="text"/>		
Matériel de rachianesthésie					
Blouse(s) stériles :	<input type="text"/>	Paire(s) de gants stériles :	<input type="text"/>		
Champs opératoire(s) :	<input type="text"/>	Brosse(s) pour les mains :	<input type="text"/>		
Set(s) de badigeon :	<input type="text"/>	Paquet(s) de compresses :	<input type="text"/>		
Aiguille(s) de RA (25 G) :	<input type="text"/>	Trocart(s) introducteur(s) :	<input type="text"/>		
Drogues Rachianesthésie					
Quantité administrée (en mg ou µg)					
<b>Anesthésiques locaux</b>					
Bupivacaïne	<input type="text"/>				
Chloroprocaine (Clorotekal)	<input type="text"/>				
Prilocaine (Baritekal)	<input type="text"/>				
<b>Opiacés</b>					
Sufentanil (IV et intrathécal)	<input type="text"/>				
Morphine (intrathécal)	<input type="text"/>				
Hypnotique(s) :	<input type="radio"/> Oui	<input type="radio"/> Non		reset	
Utilisation de vasopresseurs/ atropine ?	<input type="radio"/> Oui	<input type="radio"/> Non		reset	
<b>Antalgiques</b>					
Quantité administrée					
Paracétamol (en mg)	<input type="text"/>				
Néfopam (Acupan) (en mg)	<input type="text"/>				
Tramadol (Contramal) (en mg)	<input type="text"/>				
Kétoprofène (en mg)	<input type="text"/>				
Catapressan (en µg)	<input type="text"/>				
Morphine IV (en mg)	<input type="text"/>				

<b>Antinauséieux</b>	
<b>Quantité administrée (en mg)</b>	
Dexaméthasone	<input type="text"/>
Dropéridol	<input type="text"/>
Ondansétron (Zophren)	<input type="text"/>
<b>Antibiotiques</b>	<input type="radio"/> Oui <input type="radio"/> Non <span style="float: right;">reset</span>
<b>Soluté(s) de perfusion (en nombre de poche)</b>	
Ringer Lactate (500 mL) :	<input type="text"/>
NaCl 0.9 %	Plasmalyte (500mL) :
20 mL : <input type="text"/>	50 mL : <input type="text"/>
250 mL : <input type="text"/>	100 mL : <input type="text"/>
Gélofusine :	500 mL : <input type="text"/>
<b>Administration d'O2 pendant la RA :</b>	<input type="radio"/> Oui <input type="radio"/> Non <span style="float: right;">reset</span>
<b>Poids des déchets assimilables aux ordures ménagères (DAOM) :</b>	<input type="text"/> <small>en kg</small>
<b>Temps d'occupation de la salle (en min)</b>	<input type="text"/>
<b>Temps opératoire (en min) :</b>	<input type="text"/>
<b>Commentaire(s) libre(s) :</b>	<input type="text"/>
<b>Post-opératoire : SSPI</b>	
<b>Complications</b>	
<b>Rétention aiguë d'urines :</b> <input type="radio"/> Oui <input type="radio"/> Non <span style="float: right;">reset</span>	<b>Nausées/ Vomissements PO</b> <input type="radio"/> Oui <input type="radio"/> Non <span style="float: right;">reset</span>
<b>Autres :</b> <input type="text"/>	
<b>Douleur : échelle numérique</b>	<input type="text"/>
<b>Administration d'antalgiques ?</b>	<input type="radio"/> Oui <input type="radio"/> Non <span style="float: right;">reset</span>
<b>Couverture chauffante rallumée ?</b>	<input type="radio"/> Oui <input type="radio"/> Non <span style="float: right;">reset</span>
<b>Administration d'O2 au SSPI :</b> <input type="radio"/> Oui <input type="radio"/> Non <span style="float: right;">reset</span>	
<b>Temps passé en SSPI</b>	<input type="text"/> <small>en min</small>
<b>Temps de levée du bloc moteur :</b>	<input type="text"/> <small>en min</small>
<b>Retour à domicile</b>	<input type="radio"/> Oui <input type="radio"/> Non <span style="float: right;">reset</span>

### III. Résultats de l'inventaire des flux étape par étape pour l'AG

Habillage Patient						
Catégorie de dommages	Unité	Total	Charlotte	Masque	Tenue	Surchaussure
Acidification	mol H+ eq	2,85E-03	6,22E-05	7,05E-05	2,41E-03	3,02E-04
Climate change	kg CO2 eq	7,64E-01	2,31E-02	1,82E-02	6,41E-01	8,13E-02
Particulate matter	disease inc.	3,19E-08	7,10E-10	9,19E-10	2,68E-08	3,40E-09
Eutrophication, freshwater	kg P eq	2,04E-04	4,19E-06	4,71E-06	1,73E-04	2,19E-05
Human toxicity, cancer	CTUh	1,89E-09	4,53E-11	5,03E-11	1,58E-09	2,15E-10
Photochemical ozone formation	kg NMVOC eq	2,81E-03	6,66E-05	7,03E-05	2,37E-03	3,08E-04
Resource use, fossils	MJ	1,43E+01	3,42E-01	3,40E-01	1,20E+01	1,54E+00
Resource use, minerals and metals	kg Sb eq	3,92E-06	9,49E-08	1,14E-07	3,18E-06	5,28E-07
Water use	m3 depriv.	1,77E-01	4,79E-03	4,06E-03	1,50E-01	1,91E-02

Habillage Soignant					
Catégorie de dommages	Unité	Total	Pyjama	Calot	Masque
Acidification	mol H+ eq	7,38E-04	4,56E-04	4,71E-05	2,35E-04
Climate change	kg CO2 eq	1,22E-01	5,58E-02	6,00E-03	6,03E-02
Particulate matter	disease inc.	6,92E-09	3,55E-09	4,01E-10	2,98E-09
Eutrophication, freshwater	kg P eq	4,38E-05	2,48E-05	2,69E-06	1,64E-05
Human toxicity, cancer	CTUh	3,14E-10	1,39E-10	1,99E-11	1,56E-10
Photochemical ozone formation	kg NMVOC eq	5,03E-04	2,50E-04	2,51E-05	2,29E-04
Resource use, fossils	MJ	1,94E+00	7,49E-01	7,68E-02	1,11E+00
Resource use, minerals and metals	kg Sb eq	6,85E-07	3,58E-07	3,79E-08	2,89E-07
Water use	m3 depriv.	4,86E-01	4,34E-01	3,82E-02	1,41E-02

Installation								
Catégorie de dommages	Unité	Total	Electrodes	SHA	Brassard TA	Cables ECG	Saturomètre	Scope
Acidification	mol H+ eq	5,91E-03	7,83E-04	6,98E-04	1,90E-05	2,53E-04	2,56E-05	9,39E-05
Climate change	kg CO2 eq	1,28E+00	1,45E-01	1,99E-01	4,57E-03	5,67E-03	6,50E-04	1,35E-02
Particulate matter	disease inc.	7,55E-08	1,08E-08	7,39E-09	1,90E-10	6,15E-10	6,29E-11	8,56E-10
Eutrophication, freshwater	kg P eq	3,37E-04	7,89E-05	6,30E-05	8,50E-07	1,99E-05	6,20E-07	5,63E-06
Photochemical ozone formation	kg NMVOC eq	4,83E-03	5,85E-04	1,06E-03	1,42E-05	5,33E-05	4,42E-06	5,08E-05
Resource use, fossils	MJ	2,80E+01	1,82E+00	4,81E+00	7,21E-02	6,04E-02	9,67E-03	1,75E+00
Resource use, minerals and metals	kg Sb eq	3,91E-05	2,57E-05	6,32E-06	1,54E-08	3,23E-06	8,71E-08	6,44E-07
Water use	m3 depriv.	4,89E-01	3,85E-02	6,86E-02	3,09E-03	4,07E-03	8,81E-04	5,73E-03

Catégorie de dommages	Unité	Garrot	Valve	KT VVP	Compresse	Psmt Hydrofilm	Micropore	Gants NS
Acidification	mol H+ eq	4,26E-04	6,47E-05	2,12E-04	2,51E-04	1,32E-04	1,00E-04	4,12E-04
Climate change	kg CO2 eq	1,08E-01	1,54E-02	5,14E-02	3,79E-02	2,68E-02	2,07E-02	8,72E-02
Particulate matter	disease inc.	5,32E-09	6,70E-10	1,78E-09	2,57E-09	1,45E-09	1,14E-09	4,85E-09
Eutrophication, freshwater	kg P eq	9,68E-06	4,53E-06	1,69E-05	1,11E-05	7,00E-06	6,12E-06	1,21E-05
Photochemical ozone formation	kg NMVOC eq	3,23E-04	5,75E-05	1,80E-04	1,77E-04	9,94E-05	7,75E-05	3,33E-04
Resource use, fossils	MJ	1,75E+00	2,81E-01	8,73E-01	5,31E-01	4,08E-01	2,93E-01	1,80E+00
Resource use, minerals and metals	kg Sb eq	4,85E-08	8,65E-08	3,93E-07	2,80E-07	1,45E-07	7,61E-08	1,55E-07
Water use	m3 depriv.	5,14E-02	6,85E-03	1,73E-02	1,05E-02	8,82E-03	5,49E-03	6,64E-02

Catégorie de dommages	Unité	Moteur chauff	Draps	Perfuseur	Robinet	Chlorex	Ecran PC	Tour PC
Acidification	mol H+ eq	1,78E-04	1,16E-04	1,63E-03	4,14E-04	7,29E-05	2,45E-05	6,35E-06
Climate change	kg CO2 eq	4,21E-02	2,88E-02	3,48E-01	1,20E-01	1,78E-02	4,52E-03	9,15E-04
Particulate matter	disease inc.	2,45E-09	1,17E-09	2,90E-08	4,22E-09	6,44E-10	2,19E-10	3,95E-11
Eutrophication, freshwater	kg P eq	8,10E-06	7,28E-06	5,10E-05	2,72E-05	3,98E-06	2,18E-06	8,99E-07
Photochemical ozone formation	kg NMVOC eq	1,38E-04	1,31E-04	1,09E-03	3,49E-04	8,62E-05	1,41E-05	3,25E-06
Resource use, fossils	MJ	6,05E+00	4,67E-01	4,83E+00	1,70E+00	3,98E-01	5,48E-02	1,63E-02
Resource use, minerals and metals	kg Sb eq	3,49E-07	1,57E-07	4,80E-07	5,55E-07	1,29E-07	1,36E-07	1,21E-07
Water use	m3 depriv.	1,59E-02	6,44E-03	1,34E-01	3,94E-02	4,52E-03	7,51E-04	2,69E-04

Préparation Matériel								
Catégorie de dommages	Unité	Total	Trocart	Srgue 20ml	Srgue 10ml	Srgue 5ml	Srgue 2ml	Plateau
Acidification	mol H+ eq	1,48E-03	2,29E-04	5,47E-04	1,84E-04	2,98E-04	9,36E-05	1,28E-04
Climate change	kg CO2 eq	3,89E-01	6,13E-02	1,50E-01	5,07E-02	7,94E-02	2,54E-02	2,21E-02
Particulate matter	disease inc.	1,70E-08	2,24E-09	6,50E-09	2,21E-09	3,58E-09	1,13E-09	1,39E-09
Eutrophication, freshwater	kg P eq	1,06E-04	1,71E-05	3,92E-05	1,35E-05	2,14E-05	7,17E-06	7,77E-06
Human toxicity, cancer	CTUh	1,11E-09	2,80E-10	3,69E-10	1,23E-10	2,07E-10	6,96E-11	5,97E-11
Photochemical ozone formation	kg NMVOC eq	1,44E-03	2,11E-04	5,51E-04	1,88E-04	3,06E-04	9,75E-05	8,57E-05
Resource use, fossils	MJ	7,03E+00	8,13E-01	2,89E+00	9,74E-01	1,58E+00	4,93E-01	2,84E-01
Resource use, minerals and metals	kg Sb eq	1,79E-06	3,19E-07	6,75E-07	2,27E-07	3,72E-07	1,20E-07	7,39E-08
Water use	m3 depriv.	8,68E+00	1,06E-02	3,81E-02	1,16E-02	2,25E-02	7,85E-03	8,59E+00

Préoxygénation							
Catégorie de dommages	Unité	Total	Masque	Oxygène	Respirateur	Circuit respi	Filtre + raccord
Acidification	mol H+ eq	8,51E-03	1,79E-03	8,07E-04	3,58E-05	1,27E-03	4,61E-03
Climate change	kg CO2 eq	1,34E+00	4,60E-01	1,59E-01	5,14E-03	3,22E-01	3,90E-01
Particulate matter	disease inc.	7,35E-08	3,28E-08	2,95E-09	3,26E-10	1,30E-08	2,45E-08
Eutrophication, freshwater	kg P eq	3,84E-04	7,71E-05	1,40E-04	2,14E-06	9,62E-05	6,86E-05
Photochemical ozone formation	kg NMVOC eq	6,34E-03	1,23E-03	4,11E-04	1,94E-05	1,10E-03	3,57E-03
Resource use, fossils	MJ	2,17E+01	5,89E+00	3,72E+00	6,65E-01	5,31E+00	6,06E+00
Resource use, minerals and metals	kg Sb eq	5,29E-06	1,23E-06	3,73E-07	2,45E-07	2,17E-06	1,27E-06
Water use	m3 depriv.	6,95E-01	1,46E-01	3,47E-01	2,18E-03	9,93E-02	1,01E-01

Gestion Voies aériennes : IOT										
Catégorie de dommages	Unité	Total	Guedel	Gants NS	Sonde IOT	Lame laryngo	Manche laryngo	Chaux sodée	Respirateur	Leuco
Acidification	mol H+ eq	1,33E-02	1,28E-04	8,52E-04	4,94E-04	8,71E-03	6,76E-04	3,53E-04	3,58E-05	2,09E-03
Climate change	kg CO2 eq	2,07E+00	2,86E-02	2,48E-01	1,24E-01	1,11E+00	1,67E-02	3,25E-01	5,14E-03	2,06E-01
Particulate matter	disease inc.	1,11E-07	1,11E-09	9,47E-09	5,62E-09	7,10E-08	2,20E-09	3,76E-09	3,26E-10	1,73E-08
Eutrophication, freshwater	kg P eq	5,69E-04	6,91E-06	3,82E-05	3,65E-05	3,04E-04	8,48E-06	6,08E-05	2,14E-06	1,12E-04
Human toxicity, cancer	CTUh	1,92E-08	7,26E-11	2,71E-10	7,58E-10	1,66E-08	3,53E-10	4,49E-10	2,64E-11	6,15E-10
Photochemical ozone formation	kg NMVOC eq	8,61E-03	1,34E-04	7,15E-04	4,57E-04	6,20E-03	1,13E-04	3,55E-04	1,94E-05	6,10E-04
Resource use, fossils	MJ	2,11E+01	5,70E-01	3,70E+00	2,17E+00	1,12E+01	2,20E-01	9,08E-01	6,65E-01	1,67E+00
Resource use, minerals and metals	kg Sb eq	1,93E-05	1,26E-07	2,27E-07	5,85E-07	1,53E-05	8,79E-07	5,52E-07	2,45E-07	1,36E-06
Water use	m3 depriv.	2,66E+00	7,52E-03	8,73E-02	7,02E-02	1,85E-01	2,33E-02	3,08E-02	2,18E-03	2,25E+00

Gestion voies aériennes : ML							
Catégorie de dommages	Unité	Total	Gants NS	ML	Chaux sodée	Respirateur	Leuco
Acidification	mol H+ eq	5,37E-03	8,52E-04	2,04E-03	3,53E-04	3,58E-05	2,09E-03
Climate change	kg CO2 eq	1,34E+00	2,48E-01	5,59E-01	3,25E-01	5,14E-03	2,06E-01
Particulate matter	disease inc.	5,26E-08	9,47E-09	2,17E-08	3,76E-09	3,26E-10	1,73E-08
Eutrophication, freshwater	kg P eq	3,57E-04	3,82E-05	1,44E-04	6,08E-05	2,14E-06	1,12E-04
Human toxicity, cancer	CTUh	2,77E-09	2,71E-10	1,41E-09	4,49E-10	2,64E-11	6,15E-10
Photochemical ozone formation	kg NMVOC eq	3,87E-03	7,15E-04	2,17E-03	3,55E-04	1,94E-05	6,10E-04
Resource use, fossils	MJ	1,81E+01	3,70E+00	1,12E+01	9,08E-01	6,65E-01	1,67E+00
Resource use, minerals and metals	kg Sb eq	5,23E-06	2,27E-07	2,84E-06	5,52E-07	2,45E-07	1,36E-06
Water use	m3 depriv.	2,51E+00	8,73E-02	1,43E-01	3,08E-02	2,18E-03	2,25E+00

Induction								
Catégorie de dommages	Unité	Total	Propofol	Ketamine	Sufentanil	Dexa	Lido	Plasmalyte
Acidification	mol H+ eq	6,56E-03	4,63E-03	4,49E-04	1,75E-04	1,94E-04	2,44E-05	1,08E-03
Climate change	kg CO2 eq	9,47E-01	3,63E-01	1,25E-01	5,31E-02	6,37E-02	7,66E-03	3,34E-01
Particulate matter	disease inc.	5,79E-08	3,48E-08	5,70E-09	2,36E-09	2,41E-09	3,04E-10	1,23E-08
Eutrophication, freshwater	kg P eq	4,97E-04	3,60E-04	2,89E-05	1,28E-05	1,31E-05	2,22E-06	7,92E-05
Human toxicity, cancer	CTUh	3,01E-09	7,55E-10	1,01E-09	1,14E-10	2,78E-10	2,53E-11	8,29E-10
Photochemical ozone formation	kg NMVOC eq	3,18E-03	1,27E-03	4,19E-04	1,22E-04	1,85E-04	2,54E-05	1,16E-03
Resource use, fossils	MJ	1,50E+01	5,29E+00	2,06E+00	3,89E-01	8,21E-01	1,28E-01	6,29E+00
Resource use, minerals and metals	kg Sb eq	3,83E-06	1,30E-06	5,71E-07	1,27E-07	2,28E-07	3,86E-08	1,57E-06
Water use	m3 depriv.	3,79E-01	2,21E-01	3,12E-02	4,70E-03	1,41E-02	1,86E-03	1,06E-01

Entretien						
Catégorie de dommages	Unité	Total	Sevoflurane	Ecran PC	Tour PC	Respirateur
Acidification	mol H+ eq	7,61E-03	6,91E-03	2,58E-04	6,66E-05	3,76E-04
Climate change	kg CO2 eq	3,73E+00	3,62E+00	4,75E-02	9,61E-03	5,40E-02
Particulate matter	disease inc.	6,75E-08	6,13E-08	2,30E-09	4,15E-10	3,42E-09
Eutrophication, freshwater	kg P eq	4,24E-04	3,69E-04	2,29E-05	9,44E-06	2,25E-05
Photochemical ozone formation	kg NMVOC eq	4,15E-03	3,77E-03	1,48E-04	3,41E-05	2,03E-04
Resource use, fossils	MJ	2,31E+01	1,54E+01	5,76E-01	1,72E-01	6,98E+00
Resource use, minerals and metals	kg Sb eq	1,75E-05	1,23E-05	1,42E-06	1,27E-06	2,58E-06
Water use	m3 depriv.	3,68E-01	3,34E-01	7,89E-03	2,83E-03	2,29E-02

Analgésie Peropératoire					
Catégorie de dommages	Unité	Total	Paracetamol	Tramadol	Nefopam
Acidification	mol H+ eq	6,29E-04	4,50E-04	7,68E-05	1,03E-04
Climate change	kg CO2 eq	2,28E-01	1,35E-01	6,23E-02	3,09E-02
Particulate matter	disease inc.	7,44E-09	5,06E-09	9,84E-10	1,39E-09
Eutrophication, freshwater	kg P eq	3,88E-05	2,62E-05	5,26E-06	7,33E-06
Human toxicity, cancer	CTUh	7,39E-10	5,02E-10	1,09E-10	1,27E-10
Photochemical ozone formation	kg NMVOC eq	7,07E-04	5,57E-04	6,68E-05	8,28E-05
Resource use, fossils	MJ	3,57E+00	2,96E+00	2,86E-01	3,18E-01
Resource use, minerals and metals	kg Sb eq	1,03E-06	8,45E-07	8,42E-08	9,63E-08
Water use	m3 depriv.	8,79E-02	7,93E-02	4,48E-03	4,08E-03

SSPI									
Catégorie de dommages	Unité	Total	Scope	Saturomètre	Cables ECG	Brassard TA	Ecran PC	Tour PC	Moteur chauffante
Acidification	mol H+ eq	3,18E-03	2,35E-04	2,56E-05	2,53E-04	1,73E-05	1,84E-03	4,76E-04	3,33E-04
Climate change	kg CO2 eq	5,32E-01	3,37E-02	6,50E-04	5,67E-03	4,12E-03	3,39E-01	6,86E-02	8,05E-02
Particulate matter	disease inc.	2,64E-08	2,14E-09	6,29E-11	6,15E-10	1,71E-10	1,64E-08	2,96E-09	4,01E-09
Eutrophication, freshwater	kg P eq	2,84E-04	1,41E-05	6,20E-07	1,99E-05	7,29E-07	1,63E-04	6,74E-05	1,78E-05
Human toxicity, cancer	CTUh	1,50E-09	1,73E-10	1,21E-11	4,59E-11	7,34E-12	6,22E-10	3,62E-10	2,81E-10
Photochemical ozone formation	kg NMVOC eq	1,81E-03	1,27E-04	4,42E-06	5,33E-05	1,22E-05	1,06E-03	2,44E-04	3,13E-04
Resource use, fossils	MJ	1,65E+01	4,36E+00	9,67E-03	6,04E-02	6,44E-02	4,11E+00	1,23E+00	6,67E+00
Resource use, minerals and metals	kg Sb eq	2,47E-05	1,61E-06	8,71E-08	3,23E-06	1,28E-08	1,02E-05	9,08E-06	5,57E-07
Water use	m3 depriv.	1,23E-01	1,43E-02	8,81E-04	4,07E-03	2,98E-03	5,63E-02	2,02E-02	2,45E-02

#### IV. Résultats de l'inventaire des flux étape par étape pour la RA

Habillage Patient						
Catégorie de dommages	Unité	Total	Charlotte	Masque	Tenue	Surchaussure
Acidification	mol H+ eq	3,10E-03	6,22E-05	7,05E-05	2,41E-03	3,02E-04
Climate change	kg CO2 eq	7,86E-01	2,31E-02	1,82E-02	6,41E-01	8,13E-02
Particulate matter	disease inc.	3,25E-08	7,10E-10	9,19E-10	2,68E-08	3,40E-09
Eutrophication, freshwater	kg P eq	2,00E-04	4,19E-06	4,71E-06	1,73E-04	2,19E-05
Human toxicity, cancer	CTUh	1,88E-09	4,53E-11	5,03E-11	1,58E-09	2,15E-10
Photochemical ozone formation	kg NMVOC eq	3,12E-03	6,66E-05	7,03E-05	2,37E-03	3,08E-04
Resource use, fossils	MJ	1,44E+01	3,42E-01	3,40E-01	1,20E+01	1,54E+00
Resource use, minerals and metals	kg Sb eq	3,93E-06	9,49E-08	1,14E-07	3,18E-06	5,28E-07
Water use	m3 depriv.	1,79E-01	4,79E-03	4,06E-03	1,50E-01	1,91E-02

Habillage Soignant					
Catégorie de dommages	Unité	Total	Pyjama	Calot	Masque
Acidification	mol H+ eq	7,38E-04	4,56E-04	4,71E-05	2,35E-04
Climate change	kg CO2 eq	1,22E-01	5,58E-02	6,00E-03	6,03E-02
Particulate matter	disease inc.	6,92E-09	3,55E-09	4,01E-10	2,98E-09
Eutrophication, freshwater	kg P eq	4,38E-05	2,48E-05	2,69E-06	1,64E-05
Human toxicity, cancer	CTUh	3,14E-10	1,39E-10	1,99E-11	1,56E-10
Photochemical ozone formation	kg NMVOC eq	5,03E-04	2,50E-04	2,51E-05	2,29E-04
Resource use, fossils	MJ	1,94E+00	7,49E-01	7,68E-02	1,11E+00
Resource use, minerals and metals	kg Sb eq	6,85E-07	3,58E-07	3,79E-08	2,89E-07
Water use	m3 depriv.	4,86E-01	4,34E-01	3,82E-02	1,41E-02

Installation											
Catégorie de dommages	Unité	Total	Electrodes	SHA	Brassard TA	Cables ECG	Saturomètre	Scope	Moteur Chauffante	Draps	Perfuseur
Acidification	mol H+ eq	5,86E-03	7,83E-04	6,98E-04	1,90E-05	2,53E-04	2,56E-05	9,39E-05	1,78E-04	2,33E-04	1,63E-03
Climate change	kg CO2 eq	1,26E+00	1,45E-01	1,99E-01	4,57E-03	5,67E-03	6,50E-04	1,35E-02	4,21E-02	5,77E-02	3,48E-01
Particulate matter	disease inc.	7,44E-08	1,08E-08	7,39E-09	1,90E-10	6,15E-10	6,29E-11	8,56E-10	2,45E-09	2,35E-09	2,90E-08
Eutrophication, freshwater	kg P eq	3,43E-04	7,89E-05	6,30E-05	8,50E-07	1,99E-05	6,20E-07	5,63E-06	8,10E-06	1,46E-05	5,10E-05
Human toxicity, cancer	CTUh	5,66E-09	2,28E-09	7,16E-10	8,44E-12	4,59E-11	1,21E-11	6,93E-11	1,85E-10	1,45E-10	1,10E-09
Photochemical ozone formation	kg NMVOC eq	4,81E-03	5,85E-04	1,06E-03	1,42E-05	5,33E-05	4,42E-06	5,08E-05	1,38E-04	2,62E-04	1,09E-03
Resource use, fossils	MJ	2,72E+01	1,82E+00	4,81E+00	7,21E-02	6,04E-02	9,67E-03	1,75E+00	6,05E+00	9,35E-01	4,83E+00
Resource use, minerals and metals	kg Sb eq	3,94E-05	2,57E-05	6,32E-06	1,54E-08	3,23E-06	8,71E-08	6,44E-07	3,49E-07	3,13E-07	4,80E-07
Water use	m3 depriv.	4,40E-01	3,85E-02	6,86E-02	3,09E-03	4,07E-03	8,81E-04	5,73E-03	1,59E-02	1,29E-02	1,34E-01

Catégorie de dommages	Unité	Robinet	Garrot	Valve	KT VVP	Compresse	Psmt hydrofilm	Micropore	Chlorex	Ecran PC	Tour PC
Acidification	mol H+ eq	4,14E-04	4,26E-04	6,47E-05	2,12E-04	5,02E-04	1,32E-04	1,00E-04	7,29E-05	2,45E-05	6,35E-06
Climate change	kg CO2 eq	1,20E-01	1,08E-01	1,54E-02	5,14E-02	7,58E-02	2,68E-02	2,07E-02	1,78E-02	4,52E-03	9,15E-04
Particulate matter	disease inc.	4,22E-09	5,32E-09	6,70E-10	1,78E-09	5,13E-09	1,45E-09	1,14E-09	6,44E-10	2,19E-10	3,95E-11
Eutrophication, freshwater	kg P eq	2,72E-05	9,68E-06	4,53E-06	1,69E-05	2,21E-05	7,00E-06	6,12E-06	3,98E-06	2,18E-06	8,99E-07
Human toxicity, cancer	CTUh	1,30E-10	6,27E-11	3,41E-11	2,46E-10	3,18E-10	1,59E-10	6,54E-11	6,84E-11	8,30E-12	4,82E-12
Photochemical ozone formation	kg NMVOC eq	3,49E-04	3,23E-04	5,75E-05	1,80E-04	3,54E-04	9,94E-05	7,75E-05	8,62E-05	1,41E-05	3,25E-06
Resource use, fossils	MJ	1,70E+00	1,75E+00	2,81E-01	8,73E-01	1,06E+00	4,08E-01	2,93E-01	3,98E-01	5,48E-02	1,63E-02
Resource use, minerals and metals	kg Sb eq	5,55E-07	4,85E-08	8,65E-08	3,93E-07	5,60E-07	1,45E-07	7,61E-08	1,29E-07	1,36E-07	1,21E-07
Water use	m3 depriv.	3,94E-02	5,14E-02	6,85E-03	1,73E-02	2,09E-02	8,82E-03	5,49E-03	4,52E-03	7,51E-04	2,69E-04

Préparation Matériel								
Catégorie de dommages	Unité	Total	Trocart	Srgue 5ml	Aiguille	Introducteur	Gant sterile	Chp stérile
Acidification	mol H+ eq	4,07E-03	4,58E-05	1,49E-04	9,60E-05	1,13E-04	7,48E-04	9,05E-04
Climate change	kg CO2 eq	1,07E+00	1,23E-02	3,97E-02	2,44E-02	2,73E-02	1,72E-01	2,37E-01
Particulate matter	disease inc.	4,55E-08	4,47E-10	1,79E-09	1,43E-09	1,59E-09	8,03E-09	9,81E-09
Eutrophication, freshwater	kg P eq	2,82E-04	3,41E-06	1,07E-05	7,88E-06	8,73E-06	1,12E-05	6,19E-05
Human toxicity, cancer	CTUh	3,52E-09	5,60E-11	1,04E-10	2,85E-10	4,02E-10	2,12E-10	6,29E-10
Photochemical ozone formation	kg NMVOC eq	4,60E-03	4,22E-05	1,53E-04	7,26E-05	7,52E-05	6,08E-04	9,94E-04
Resource use, fossils	MJ	2,05E+01	1,63E-01	7,90E-01	2,77E-01	2,80E-01	2,61E+00	4,30E+00
Resource use, minerals and metals	kg Sb eq	1,12E-05	6,38E-08	1,86E-07	2,77E-07	3,92E-07	1,89E-07	1,55E-06
Water use	m3 depriv.	1,94E-01	2,12E-03	1,13E-02	6,14E-03	4,97E-03	8,79E-02	5,29E-02
Catégorie de dommages	Unité	Comresse	SHA	Eau	Savon	Brosse	Essuie-main	Betadine
Acidification	mol H+ eq	2,51E-04	6,98E-04	1,45E-05	1,01E-05	3,78E-04	3,46E-05	6,30E-04
Climate change	kg CO2 eq	3,79E-02	1,99E-01	2,91E-03	1,80E-03	8,72E-02	5,89E-03	2,25E-01
Particulate matter	disease inc.	2,57E-09	7,39E-09	1,66E-10	1,43E-10	5,87E-09	4,23E-10	5,81E-09
Eutrophication, freshwater	kg P eq	1,11E-05	6,30E-05	1,07E-05	3,78E-07	2,16E-05	2,88E-06	6,81E-05
Human toxicity, cancer	CTUh	1,59E-10	7,16E-10	4,45E-11	1,12E-11	1,64E-10	1,33E-11	7,21E-10
Photochemical ozone formation	kg NMVOC eq	1,77E-04	1,06E-03	9,72E-06	8,02E-06	3,38E-04	1,89E-05	1,04E-03
Resource use, fossils	MJ	5,31E-01	4,81E+00	3,74E-02	2,58E-02	1,76E+00	5,85E-02	4,86E+00
Resource use, minerals and metals	kg Sb eq	2,80E-07	6,32E-06	1,50E-08	1,22E-08	3,34E-07	1,10E-08	1,56E-06
Water use	m3 depriv.	1,05E-02	6,86E-02	-1,71E-01	1,35E-03	4,52E-02	2,16E-03	7,23E-02

Induction					
Catégorie de dommages	Unité	Total	Plasmalyte	Cicaplaie	Baritekal
Acidification	mol H+ eq	1,38E-03	1,08E-03	2,05E-04	9,61E-05
Climate change	kg CO2 eq	4,22E-01	3,34E-01	6,15E-02	2,66E-02
Particulate matter	disease inc.	1,57E-08	1,23E-08	2,16E-09	1,21E-09
Eutrophication, freshwater	kg P eq	1,05E-04	7,92E-05	1,91E-05	6,25E-06
Resource use, fossils	MJ	7,60E+00	6,29E+00	8,85E-01	4,27E-01
Resource use, minerals and metals	kg Sb eq	2,01E-06	1,57E-06	3,25E-07	1,18E-07
Water use	m3 depriv.	1,24E-01	1,06E-01	1,12E-02	6,48E-03

Entretien							
Catégorie de dommages	Unité	Total	Ecran PC	Tour PC	Scope	Moteur Chauff	Lingette
Acidification	mol H+ eq	9,63E-04	5,27E-04	1,36E-04	6,73E-05	6,24E-05	1,70E-04
Climate change	kg CO2 eq	1,75E-01	9,72E-02	1,97E-02	9,67E-03	1,47E-02	3,38E-02
Particulate matter	disease inc.	8,99E-09	4,71E-09	8,50E-10	6,13E-10	8,57E-10	1,96E-09
Eutrophication, freshwater	kg P eq	8,21E-05	4,69E-05	1,93E-05	4,03E-06	2,83E-06	9,02E-06
Photochemical ozone formation	kg NMVOC eq	5,78E-04	3,04E-04	6,99E-05	3,64E-05	4,84E-05	1,20E-04
Resource use, fossils	MJ	5,46E+00	1,18E+00	3,51E-01	1,25E+00	2,12E+00	5,58E-01
Resource use, minerals and metals	kg Sb eq	6,33E-06	2,91E-06	2,60E-06	4,62E-07	1,22E-07	2,35E-07

Analgésie peropératoire						
Catégorie de dommages	Unité	Total	Paracetamol	Nefopam	Trocart	Morphine
Acidification	mol H+ eq	5,25E-04	4,50E-04	5,15E-06	4,58E-05	2,44E-05
Climate change	kg CO2 eq	1,74E-01	1,35E-01	1,54E-03	1,23E-02	2,54E-02
Particulate matter	disease inc.	5,84E-09	5,06E-09	6,95E-11	4,47E-10	2,57E-10
Eutrophication, freshwater	kg P eq	6,68E-05	2,62E-05	3,67E-07	3,41E-06	3,68E-05
Photochemical ozone formation	kg NMVOC eq	6,18E-04	5,57E-04	4,14E-06	4,22E-05	1,50E-05
Resource use, fossils	MJ	3,20E+00	2,96E+00	1,59E-02	1,63E-01	5,90E-02
Resource use, minerals and metals	kg Sb eq	9,23E-07	8,45E-07	4,82E-09	6,38E-08	9,88E-09

SSPI									
Catégorie de dommages	Unité	Total	Scope	Saturomètre	Cables ECG	Brassard TA	Ecran PC	Tour PC	Moteur chauff
Acidification	mol H+ eq	3,18E-03	2,35E-04	2,56E-05	2,53E-04	1,73E-05	1,84E-03	4,76E-04	3,33E-04
Climate change	kg CO2 eq	5,32E-01	3,37E-02	6,50E-04	5,67E-03	4,12E-03	3,39E-01	6,86E-02	8,05E-02
Particulate matter	disease inc.	2,64E-08	2,14E-09	6,29E-11	6,15E-10	1,71E-10	1,64E-08	2,96E-09	4,01E-09
Eutrophication, freshwater	kg P eq	2,84E-04	1,41E-05	6,20E-07	1,99E-05	7,29E-07	1,63E-04	6,74E-05	1,78E-05
Human toxicity, cancer	CTUh	1,50E-09	1,73E-10	1,21E-11	4,59E-11	7,34E-12	6,22E-10	3,62E-10	2,81E-10
Photochemical ozone formation	kg NMVOC eq	1,81E-03	1,27E-04	4,42E-06	5,33E-05	1,22E-05	1,06E-03	2,44E-04	3,13E-04
Resource use, fossils	MJ	1,65E+01	4,36E+00	9,67E-03	6,04E-02	6,44E-02	4,11E+00	1,23E+00	6,67E+00
Resource use, minerals and metals	kg Sb eq	2,47E-05	1,61E-06	8,71E-08	3,23E-06	1,28E-08	1,02E-05	9,08E-06	5,57E-07
Water use	m3 depriv.	1,23E-01	1,43E-02	8,81E-04	4,07E-03	2,98E-03	5,63E-02	2,02E-02	2,45E-02



**AUTEURE : Nom : FAURE**

**Prénom : Julie**

**Date de soutenance : 29 avril 2025**

**Titre de la thèse : Etude EMPREINTE : réduction de l'impact environnemental de l'anesthésie, une comparaison des analyses en cycle de vie de l'anesthésie générale et de la rachianesthésie dans la prise en charge de l'abcès périanal**

**Thèse - Médecine - Lille 2025**

**Cadre de classement : Anesthésie**

**DES : Anesthésie-Réanimation et Médecine Périopératoire**

**Mots-clés : Comparaison impact environnemental, analyse en cycle de vie, anesthésie générale, rachianesthésie.**

**Résumé :**

**Contexte :** Les conséquences du changement climatique sur la santé humaine et l'impact du système de santé et plus particulièrement des pratiques anesthésiques sur ce dernier amène les praticiens à se questionner sur son évaluation et les moyens de le réduire pour s'engager dans des démarches d'écoconception des soins.

**Méthode :** Dans cette optique, nous avons comparé, à partir d'un recueil de données prospectif, les analyses en cycle de vie de la rachianesthésie et de l'anesthésie générale dans la prise en charge de la chirurgie périanales au CHU de Lille.

**Résultats :** Cette étude retrouve un impact environnemental de la rachianesthésie bien plus faible pour toutes les catégories d'impact considérées par rapport à celui de l'anesthésie générale. Par exemple l'impact sur le changement climatique est 3 fois inférieur pour la rachianesthésie.

L'impact de l'anesthésie générale est principalement lié à l'utilisation de sevoflurane et des nombreux dispositifs médicaux à usage unique.

**Conclusion :** Cette étude vient confirmer la pertinence des recommandations de bonnes pratiques des sociétés savantes qui préconisent la pratique de l'anesthésie loco-régionale quand c'est possible. Elle permet également d'identifier des pistes de diminution de cet impact en mettant en avant les actions à entreprendre dans une démarche d'écoconception des soins.

Elle invite à considérer les arguments écologiques dans les choix thérapeutiques, dans la perspective de préserver le système sanitaire et promouvoir la santé dans toutes ses formes pour les générations actuelles et futures.

**Composition du Jury :**

**Président : Pr Benoit TAVERNIER**

**Assesseurs : Dr Lydie OGE, Dr Gabriel MASSON**

**Directrice de thèse : Dr Florence LALLEMANT**