

UNIVERSITÉ DE LILLE
FACULTÉ DE MÉDECINE HENRI WAREMBOURG

Année : 2021

THÈSE POUR LE DIPLÔME D'ÉTAT
DE DOCTEUR EN MÉDECINE

**Démarche d'écoconception au bloc opératoire au travers de la réalisation d'un
bilan d'émission de gaz à effet de serre d'une appendicectomie**

Présentée et soutenue publiquement le 14 octobre 2021 à 16 heures
au Pôle Formation
par Alexis PENNEC

JURY

Président :

Monsieur le Professeur Benoît TAVERNIER

Asseseurs :

Monsieur le Professeur Daniel MATHIEU

Madame le Docteur Camille MARCINIAK

Directeur de thèse :

Madame le Docteur Florence LALLEMANT

Avertissement

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

Liste des abréviations

ACV	Analyse en cycle de vie
ADEME	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie
BEGES	Bilans d'émission de gaz à effet de serre
CHU	Centre hospitalier universitaire
CO₂	Dioxyde de carbone
CTA	Centrales de traitement d'air
DAOM	Déchets Assimilés aux Ordures Ménagères
DASRI	Déchets d'Activités de Soins à Risques Infectieux
DM	Dispositif(s) médical(aux)
EqCO₂	Equivalent dioxyde de carbone
FE	Facteur d'émission
GES	Gaz à effet de serre
GIEC	Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat
O₂	Oxygène
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
PRG₁₀₀	Potentiel de réchauffement global à 100 ans
RM	Ratio monétaire

Table des matières

LISTE DES ABREVIATIONS	4
TABLE DES MATIERES	5
LISTE DES FIGURES	7
LISTE DES TABLEAUX.....	8
RESUME	9
INTRODUCTION	10
1. La réalité du réchauffement climatique.....	10
2. Les émissions carbone du système de santé	11
3. Conséquences sanitaires du réchauffement climatique.....	12
4. Démarche d'écoconception	13
5. Objectifs.....	14
MATERIEL ET METHODES.....	15
I. Réalisation d'un bilan de gaz à effet de serre d'une appendicectomie	15
1. Design de l'étude	15
Critères d'inclusion.....	15
Critères d'exclusion.....	15
2. Recueil de données	16
3. Périmètre d'étude	17
4. Considérations éthiques	18
5. Analyses statistiques	18
II. Méthode de calcul du bilan de gaz à effet de serre et recueil des facteurs d'émission	19
1. Méthodologie de l'ADEME.....	19
2. Outils de mesure des émissions carbone.....	20
Analyse en cycle de vie	20
Analyse en ratio monétaire	21
3. Calcul des facteurs d'émission du scope 1	22
Facteur d'émission gaz halogénés	22
Facteur d'émission du dioxyde de carbone	23
4. Calcul du facteur d'émission du scope 2	23
5. Calcul des facteurs d'émission du scope 3	24
Facteurs d'émission des dispositifs médicaux à usage unique	24
Calcul des facteurs d'émission du transport des membres du personnel	27
Calcul du facteur d'émission de la désinfection chirurgicale des mains.....	27
Calcul du facteur d'émission de la stérilisation des instruments chirurgicaux stérilisables.....	28
Calcul du facteur d'émission de la production d'oxygène médical	28
Calcul du facteur d'émission de l'élimination des déchets	29

Calcul du facteur d'émission de la blanchisserie hospitalière	29
Calcul du facteur d'émission des médicaments utilisés	30
Calcul du facteur d'émission de la production des équipements de bloc utilisés.....	30
RESULTATS	32
I. Caractéristiques des appendicectomies étudiées	32
II. BEGES d'une appendicectomie	33
1. Anesthésie	33
Gaz médicaux	33
Médicaments.....	34
Dispositifs médicaux	35
2. Chirurgie	38
Gaz médicaux	38
Dispositifs médicaux	38
3. Electricité	40
4. Personnel soignant	40
5. Equipements médicaux	41
6. Déchets.....	41
7. Bilan d'émissions de gaz à effet de serre de l'appendicectomie.....	42
DISCUSSION	47
1. Rappel des résultats principaux	47
2. Forces et limites de l'étude	48
3. Commentaires des résultats et choix méthodologiques.....	50
4. Concordance des résultats avec la littérature scientifique	51
5. Perspectives et moyens d'action	53
A l'échelle du soignant :	53
A l'échelle de l'hôpital	54
CONCLUSION.....	56
BIBLIOGRAPHIE	57
ANNEXE.....	64

Liste des figures

Figure 1. Contenu des scopes 1, 2 et 3 pour une chirurgie d'appendicectomie par voie coelioscopique	20
Figure 2. Exemple d'analyse en cycle de vie pour une sonde d'intubation	21
Figure 3 Temps d'occupation de la salle et durée d'intervention	32
Figure 4 Quantités d'air et d'oxygène utilisées.....	34
Figure 5 Continent de fabrication des DM d'anesthésie.....	36
Figure 6. Continent de fabrication des DM de chirurgie	39
Figure 7. Répartition des modes de transport du personnel	40
Figure 8 Proportion d'utilisation de DASRI lors de l'opération	41
Figure 9. Empreinte carbone médiane d'une appendicectomie par poste d'émission (en kg eqCO ₂)	42
Figure 10. Répartition des postes d'émission carbone en analyse en cycle de vie.....	43
Figure 11. Répartition des scopes en fonction de leur empreinte carbone en analyse en cycle de vie	43
Figure 12. Répartition des scopes en fonction de leur empreinte carbone en analyse en ratio monétaire.....	44
Figure 13. Répartition du BEGES d'une appendicectomie selon l'analyse en cycle de vie	46
Figure 14. Répartition du BEGES d'une appendicectomie selon l'analyse en ratio monétaire	46

Liste des tableaux

Tableau 1. Prix et durée de vie des principaux équipements du bloc opératoire	31
Tableau 2 Consommation et empreinte carbone des gaz médicaux d'anesthésie	33
Tableau 3. Equivalent carbone, prix et nombre moyen de médicaments utilisés au cours d'une appendicectomie	35
Tableau 4. Caractéristiques, équivalent CO ₂ et nombre moyen de DM en anesthésie.....	37
Tableau 5. Caractéristiques, équivalent CO ₂ et nombre moyen de DM utilisés en chirurgie	39
Tableau 6. Composition des différents scopes et empreintes carbone associées	45

Résumé

Démarche d'écoconception au bloc opératoire au travers de la réalisation d'un bilan d'émission de gaz à effet de serre d'une appendicectomie

Contexte. Selon l'OMS, le changement climatique représente la plus grande menace pour la santé dans le monde au XXI^e siècle. Le secteur de la santé contribue au réchauffement climatique en étant responsable de 4,4% des émissions de gaz à effet de serre au niveau mondial, et les hôpitaux sont désormais engagés dans une démarche de réduction des émissions carbone. Dans le cadre de l'écoconception de la santé, ces émissions doivent être étudiées afin de pouvoir être maîtrisées sans altérer la qualité des soins prodigués. L'objectif principal de ce travail était d'évaluer le bilan de gaz à effet de serre d'une appendicectomie. Les objectifs secondaires étaient d'étudier la répartition des postes d'émissions afin de pouvoir proposer des pistes de réflexion pour la réduction de ces émissions.

Méthodes. Nous avons utilisé la méthodologie de l'ADEME pour la réalisation d'un Bilan d'Emission de Gaz à Effet de Serre (BEGES) et calculé les différents facteurs d'émission carbone à utiliser. Nous avons ensuite réalisé une étude prospective observationnelle au bloc opératoire des urgences du CHU de Lille afin de calculer le BEGES d'une appendicectomie.

Résultats. 31 appendicectomies ont été incluses. L'empreinte carbone médiane d'une appendicectomie au CHU de Lille était de 44,9 kg eqCO₂. 76 DM à usage unique et 13 médicaments étaient utilisés par intervention, respectivement responsables de l'émission de 8,8 et 11,9 kg eqCO₂. 3 kg eqCO₂ étaient dus à la stérilisation hospitalière. Le seul gaz halogéné employé était le sévoflurane, responsable de l'émission de 7,4 kg eqCO₂. Le transport du personnel émettait 5,4 kg eqCO₂ avec une médiane de trajet à 7 km, et les déchets produisaient 1,9 kg eqCO₂. Les déchets de type DASRI étaient présents dans seulement 5 interventions sur 31 (16%). Un kg eqCO₂ était dû à la production de l'électricité consommée, 2,7 kg eqCO₂ à la production des équipements médicaux et 1,1 kg eqCO₂ à la blanchisserie.

Conclusion. Dans une démarche de réduction des émissions, il existe une marge de progression pour l'amélioration de nos pratiques (diminution des débits de gaz frais, achat de matériel éco-responsable, tri des déchets et recyclage, préférence des transports en commun), sans altération de la qualité des soins fournis.

Introduction

L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) considère le réchauffement climatique comme étant la plus grande menace pour la santé dans le monde au XXI^e siècle (1). Les différentes instances internationales prennent conscience du réchauffement climatique et de ses conséquences, et commencent à mettre en œuvre des politiques de réduction de ces émissions (2). Le secteur de la santé est doublement concerné par le sujet, d'une part car il est un émetteur considérable de gaz à effet de serre, et d'autre part car les émissions carbone ont un retentissement sur la santé des populations (3,4). Les professionnels de santé s'intéressent de plus en plus à l'impact environnemental de leur activité afin de répondre aux objectifs de réduction des émissions de gaz à effet de serre.

1. La réalité du réchauffement climatique

Le réchauffement climatique est un phénomène global de transformation du climat caractérisé par une augmentation générale des températures moyennes, et qui modifie durablement les équilibres météorologiques et les écosystèmes (5). Il est désormais établi que le changement climatique est d'origine anthropique, notamment en grande partie via l'émission de gaz à effet de serre tels que le dioxyde de carbone (CO₂) (6).

Les différentes constatations et projections du Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC), créé en 1988, ont conduit à la réalisation des accords de Paris en 2015 (2). Ces accords, ratifiés par 196 pays, prévoient de limiter la hausse de la température à +2°C à l'horizon 2100, afin de laisser suffisamment de temps aux populations pour s'adapter au réchauffement climatique. Malgré la signature de ces accords, les émissions de CO₂ mondiales ont continuellement augmenté de 2015 à 2019 (7).

De plus, selon le dernier rapport du programme environnemental des Nations unies (PNU), même si chaque pays signataire respectait sa propre contribution nationale à la lutte contre le réchauffement climatique, c'est-à-dire la réduction des émissions de CO₂ à laquelle ils se sont engagés, le réchauffement planétaire moyen se situerait plutôt entre 2,7°C et 3,2°C à l'horizon 2100 (8). Il est possible d'infléchir cette tendance en agissant pour une réduction des émissions carbone de manière globale.

2. Les émissions carbone du système de santé

Les émissions carbone doivent diminuer dans tous les secteurs de la société afin de pouvoir envisager la tenue des objectifs fixés et un succès dans la lutte contre le réchauffement climatique. Tous les acteurs, pouvoirs publics, entreprises et particuliers sont concernés.

Le secteur de la santé est responsable d'entre 4 et 6% des émissions de gaz à effet de serre au niveau mondial, soit 2 fois plus que l'aviation civile, et contribue donc au réchauffement climatique (9,10). Au sein d'un hôpital, le secteur des blocs opératoires est le plus énergivore, consommant 3 à 6 fois plus de ressources que les autres secteurs (11).

Dans le Lancet Planetary Health en 2017, MacNeill et al. ont calculé les émissions carbonées dues aux blocs opératoires de 3 hôpitaux : Minneapolis aux Etats-Unis d'Amérique, Vancouver au Canada, et Oxford au Royaume-Uni (12). D'après leurs résultats, l'anesthésie et la consommation d'énergie sont les plus gros émetteurs de GES au sein d'un bloc opératoire. Les émissions moyennes pour une intervention chirurgicale variaient de 146 à 232 kg eqCO₂ selon l'hôpital, toutes chirurgies confondues. Au total, sur une période d'un an, les émissions générées uniquement par les blocs opératoires de ces 3 hôpitaux sont estimées à 9,7 millions de tonnes de CO₂, soit autant que les émissions générées annuellement par les habitants d'une ville comme Marseille (13,14).

Depuis 2010 et l'article 75 de la loi n°2010-788 du code de l'environnement, dite loi Grenelle 2, les hôpitaux doivent s'engager dans une démarche d'évaluation de leur Bilan d'Emissions de Gaz à Effet de Serre (BEGES) (15). Le dernier BEGES réalisé par le Centre Hospitalier Universitaire (CHU) de Lille, pour l'année 2016, s'élève à 25994 tonnes d'équivalent CO₂, soit l'équivalent des émissions annuelles de 2360 Français, ou l'équivalent de 3600 voitures réalisant un tour complet de la Terre (13,16).

Paradoxalement, les hôpitaux participent au réchauffement climatique, en contradiction avec leur mission de soin et de protection de la population

3. Conséquences sanitaires du réchauffement climatique

En effet, selon un rapport de l'OMS publié en 2018, le changement climatique est un réel fléau sanitaire mondial (3). Il menace de faire perdre l'avancée des 50 dernières années dans le domaine de la santé publique (17).

Le réchauffement climatique va entraîner une intensification des catastrophes naturelles comme les inondations, vagues de chaleur, incendies, ou phénomènes météorologiques exceptionnels, ce qui provoquera de nombreuses victimes et une hausse des pathologies liées au stress. La raréfaction de la ressource en eau potable et la perte de la productivité agricole associées entraîneront une augmentation de la malnutrition et des pathologies infectieuses dues à la consommation d'eau contaminée. Une multiplication des conflits armés est également à craindre en raison des famines causées.

Les changements climatiques causeront par ailleurs des changements d'écosystèmes, avec une nouvelle répartition géographique des maladies vectorielles telles que le paludisme, et atteinte de populations habituellement naïves de ces pathologies. Les maladies

respiratoires et cardiovasculaires, et cancer, verront également leur incidence augmenter (3,18,19).

Les premiers effets du dérèglement climatique sont déjà perceptibles avec plus de 5 millions de personnes qui décèderaient prématurément chaque année dans le monde en raison de conditions excessivement chaudes ou froides (20). La pollution de l'air serait à elle seule responsable du décès de 7 millions de personnes par an dans le monde (4).

4. Démarche d'écoconception

Comprendre les émissions de gaz à effet de serre du système de santé est impératif afin de pouvoir proposer des solutions de diminution. L'Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) propose un outil de mesure des émissions carbone, au travers de la réalisation d'un Bilan de d'Emission de Gaz à Effet de Serre (BEGES). Ce BEGES s'inscrit dans le cadre plus large de l'écoconception, bien qu'il soit nécessaire de prendre en considération d'autres éléments pour cela. L'ADEME définit l'écoconception comme une démarche innovante visant à réduire les impacts environnementaux d'un produit ou d'un service tout au long de son cycle de vie (21). Appliqué au système de santé, cela signifie diminuer les impacts environnementaux d'un acte de soin sans altérer aucunement la qualité de celui-ci, et ainsi intégrer la notion de développement durable dans nos pratiques professionnelles.

Dans le cadre d'une démarche d'écoconception au bloc opératoire, nous avons choisi comme modèle une intervention commune pour analyser son bilan d'émissions de gaz à effet de serre : la chirurgie d'appendicectomie, qui est une chirurgie fréquemment pratiquée en France. 50257 appendicectomies par voie coelioscopique chez l'adulte ont été pratiquées en France en 2019, dont 347 au CHU de Lille (22).

5. Objectifs

L'objectif principal de notre travail était d'effectuer un bilan de gaz à effet de serre d'une chirurgie d'appendicectomie par voie coelioscopique au CHU de Lille, en utilisant la méthodologie décrite par l'ADEME.

Les objectifs secondaires étaient d'étudier la répartition des postes d'émissions carbone de cette chirurgie, et de proposer des pistes de réflexion pour la réduction de ces émissions.

Matériel et méthodes

I. Réalisation d'un bilan de gaz à effet de serre d'une appendicectomie

1. Design de l'étude

Nous avons réalisé une étude prospective observationnelle au CHU de Lille entre le 10 mai 2021 et le 10 août 2021, au sein du département des Urgences.

Critères d'inclusion

Les chirurgies incluses étaient les chirurgies d'appendicectomie réalisées par voie coelioscopique, chez les patients de plus de 15 ans et 3 mois.

Critères d'exclusion

Les critères d'exclusion étaient les suivants :

- Patient appartenant à la population pédiatrique (de moins de 15 ans et 3 mois) ;
- Laparotomie initiale ou conversion en laparotomie en cours d'intervention ;
- Complication per-opératoire impliquant un changement de pratique ou l'utilisation de matériel supplémentaire (choc septique, anaphylactique, hémorragique, plaie digestive, etc) ;

- Patient infecté par le Sars-CoV-2 ou porteur de bactérie multirésistante en raison de l'utilisation importante d'équipements de protection individuelle jetables et de l'utilisation exclusive de la filière de Déchets d'Activités de Soins à Risque Infectieux (DASRI).

Les données ont été recueillies au moyen d'un eCRF (Electronic Case Report Form). L'eCRF a été conçu grâce à Goupile, un éditeur de formulaires pour le recueil de données. Il n'était possible de remplir le questionnaire que si les critères d'inclusion étaient rencontrés. L'eCRF utilisé est reporté en annexe.

2. Recueil de données

Les données recueillies étaient les suivantes :

- Age et sexe du patient ;
- Dénomination et nombre de dispositifs médicaux et médicaments ouverts au cours de l'anesthésie et de la chirurgie, qu'ils soient utilisés ou non ;
- Nombre de médicaments et dispositifs médicaux ayant été ouverts puis jetés sans avoir été utilisés ;
- Pour chaque membre du personnel participant à la chirurgie : mode(s) de transport(s), kilométrage et durée de présence sur place ;
- Temps d'occupation de la salle et durée de la chirurgie ;
- Consommation en air, oxygène, dioxyde de carbone, gaz halogéné et protoxyde d'azote lors de l'appendicectomie ;

- Nombre de lavage chirurgical des mains ;
- Poids des Déchets Assimilables aux Ordures Ménagères (DAOM) et DASRI produits lors de l'appendicectomie. La pesée des déchets était réalisée en fin d'intervention, par la personne remplissant l'eCRF. Cette personne devait s'assurer que les sacs poubelles du bloc opératoire étaient vidés avant de débiter l'intervention.

3. Périmètre d'étude

Nous avons limité le périmètre de notre étude au déroulé du bloc opératoire de l'appendicectomie et à l'hospitalisation associée. Le transport du patient jusqu'à l'hôpital ainsi que son transport retour n'ont pas été pris en compte, de même que les éventuelles consultations post chirurgie. Le passage aux urgences et le passage en salle de réveil ont été considérés comme faisant partie de l'hospitalisation associée à la chirurgie d'appendicite.

Le BEGES de la chirurgie d'appendicectomie a été calculé selon la méthode du bilan carbone® décrite ci-dessous.

Le BEGES de l'hospitalisation liée à la chirurgie a été inclus dans notre étude afin de prendre en compte le parcours patient au sein de l'hôpital, selon les conseils des membres de l'ADEME que nous avons contactés. Il a été calculé en utilisant le BEGES 2016 du CHU de Lille. Selon ce bilan, les émissions annuelles du CHU de Lille étaient de 25 994 T eqCO₂ pour 756776 journées d'hospitalisation (16). Une journée d'hospitalisation émettait donc en moyenne 34,35 kg eqCO₂.

D'après les données fournies par le Département d'Information Médicale (DIM) du CHU, la durée moyenne d'hospitalisation en 2020 pour une appendicectomie était de 1,49 jour. Nous

avons calculé la durée d'hospitalisation pré et post intervention en enlevant la durée d'intervention de chacune des appendicectomies incluses à la durée moyenne d'hospitalisation.

4. Considérations éthiques

Aucune donnée de santé n'a été recueillie au cours de notre étude, et la réalisation de l'étude n'a pas influé sur la prise en charge des patients. De ce fait, après étude de notre protocole, le Comité de Protection des Personnes (CPP) Nord Ouest IV a déclaré que notre étude relevait de la recherche non interventionnelle et n'entraîne pas dans le cadre de la loi Jardé. Aucun avis favorable d'un CPP n'était donc nécessaire.

5. Analyses statistiques

Nous avons décrit les caractéristiques de l'ensemble des chirurgies d'appendicectomie étudiées. Les variables quantitatives recueillies ont été présentées sous forme de médiane et intervalle interquartile. Les variables qualitatives ont été présentées sous forme d'effectif et de proportion pour chacune des modalités.

L'empreinte carbone de chaque opération a été calculée selon la méthodologie décrite ci-dessous, en additionnant les empreintes carbone de chaque poste d'émission pour une chirurgie. En cas de donnée manquante pour un poste d'émission, nous avons réalisé une imputation de donnée par l'empreinte carbone médiane du poste d'émission concerné.

Les analyses statistiques ont été réalisées avec le logiciel R version 4.1.1.

II. Méthode de calcul du bilan de gaz à effet de serre et recueil des facteurs d'émission

1. Méthodologie de l'ADEME

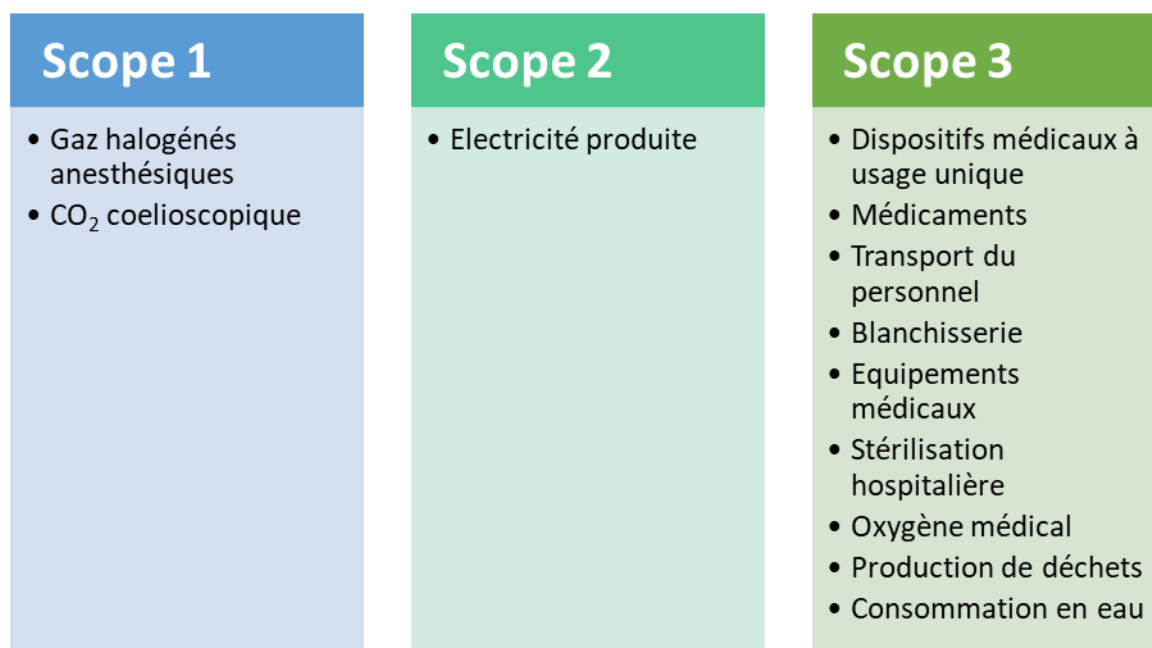
Nous avons choisi d'utiliser la méthode de calcul des émissions carbone décrite par l'ADEME, qui est la référence officielle en France.

Le Bilan des Emissions de Gaz à Effet de Serre (BEGES) est un outil créé par l'association Bilan Carbone® et l'ADEME, permettant d'estimer les émissions de gaz à effet de serre (23). Cet outil permet de s'approcher de l'exhaustivité du comptage des émissions carbone, tout en assurant qu'aucune émission ne soit comptée deux fois ou plus. Les paramètres recueillis sont multipliés par un Facteur d'Emission (FE) donné, permettant d'obtenir l'équivalent carbone de ce paramètre, en kilogramme équivalent dioxyde de carbone (kg eqCO₂).

Avant de commencer cette estimation, la définition du périmètre de l'étude est une étape importante, permettant de borner le recueil de données.

Selon la méthodologie du Bilan Carbone®, les émissions sont découpées en trois groupes, dénommés scopes. Le scope 1 représente les émissions directes de gaz à effet de serre générées par l'activité ou le produit étudié. Le scope 2 comprend les émissions indirectes de gaz à effet de serre liées à la production de l'énergie utilisée pour réaliser l'activité. Le scope 3, quant à lui, regroupe toutes les émissions non liées aux scopes 1 et 2.

Figure 1. Contenu des scopes 1, 2 et 3 pour une chirurgie d'appendicectomie par voie coelioscopique



Pour mesurer les différentes émissions de gaz à effet de serre, l'ADEME propose l'utilisation de deux outils : l'analyse en cycle de vie, basée sur des paramètres physiques, et l'analyse en ratio monétaire, basée sur des paramètres financiers.

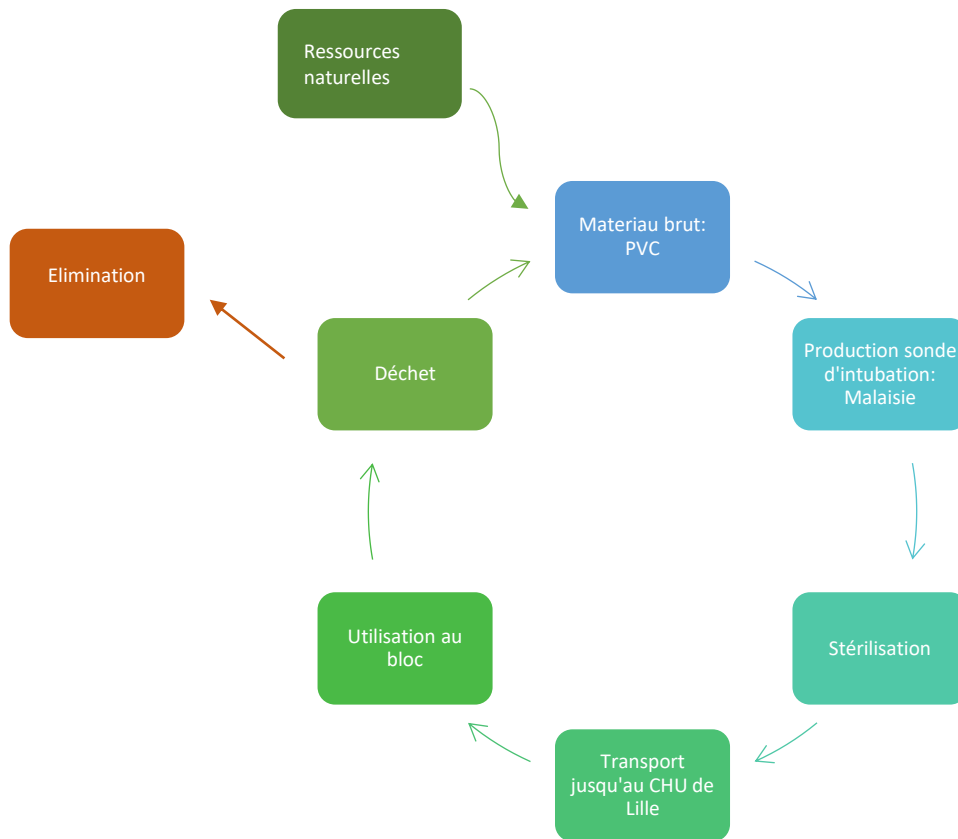
2. Outils de mesure des émissions carbone

Analyse en cycle de vie

L'ADEME définit l'analyse en cycle de vie (ACV) comme étant « l'outil le plus abouti en matière d'évaluation globale et multicritère des impacts environnementaux. Cette méthode normalisée permet de mesurer les effets quantifiables de produits ou de services sur l'environnement. L'analyse du cycle de vie recense et quantifie, tout au long de la vie des produits, les flux physiques de matière et d'énergie associés aux activités humaines » (24).

L'ACV s'intéresse donc à toutes les étapes de la vie d'un produit : sa production, son transport, son utilisation et enfin son élimination. L'utilisation de cette méthode requiert une connaissance fine de chaque étape du cycle de vie du produit.

Figure 2. Exemple d'analyse en cycle de vie pour une sonde d'intubation



Analyse en ratio monétaire

Les facteurs d'émission monétaire sont les facteurs d'émission dits « du puits à la porte de l'usine ». Ils prennent en compte la valeur monétaire du produit pour estimer l'empreinte carbone de la fabrication de ce produit, en partant du principe que plus un produit est cher, plus son transport et sa fabrication ont nécessité de ressources, et plus son empreinte carbone est élevée. Cette méthode est moins précise qu'une analyse en cycle de vie, mais permet cependant de tenir compte de l'ensemble des étapes de fabrication, et d'intégrer les

coûts carbone cachés, notamment de recherche et développement. Les filières de fin de vie du produit ne sont pas prises en compte dans l'analyse en ratio-monnaire (élimination et recyclage), et le transport aval est lui partiellement pris en compte.

L'ADEME recommande d'utiliser l'analyse en ratio monétaire en l'absence de données physiques permettant une analyse en cycle de vie (25).

3. Calcul des facteurs d'émission du scope 1

Facteur d'émission gaz halogénés

La formule permettant de calculer le facteur d'émission des gaz halogénés en équivalent carbone est la suivante :

$$FE_{hal} = PRG_{100(hal)} \frac{V_{hal} \times \rho_{hal}}{1000}$$

Où FE_{hal} = Facteur d'émission de l'halogéné, en g eqCO₂,

$PRG_{100(hal)}$ = Potentiel de Réchauffement Global à 100 ans (PRG_{100}) de l'halogéné

V_{hal} = volume de l'halogéné, en ml

ρ_{hal} = masse volumique du sévoflurane, en kg/m³.

Le PRG_{100} du sévoflurane est de 349 kg eqCO₂/kg et sa masse volumique de 1,520 kg/m³ à 20°C, ainsi le facteur d'émission du sévoflurane calculé était de 530 g eqCO₂/ml (26).

Le PRG_{100} du desflurane est de 3714 kg eqCO₂/kg et sa masse volumique de 1,44 kg/m³ à 20°C, ainsi le facteur d'émission du desflurane calculé était de 5348 g eqCO₂/ml (26).

Facteur d'émission du dioxyde de carbone

La consommation en CO₂ par la colonne de coelioscopie est donnée en litre. La masse volumique du CO₂ gazeux est de 1,87 kg/m³, soit 1,87 g/L (27). Le CO₂ étant le gaz de référence pour tous les calculs de facteurs de conversion, le facteur d'émission du CO₂, FE_{CO2}, est de 1,87 g eqCO₂/L.

4. Calcul du facteur d'émission du scope 2

Ce sont les émissions liées à la production d'électricité nécessaire au fonctionnement du bloc opératoire. Les salles de bloc opératoire ne sont pas équipées d'un compteur électrique propre qui permettrait d'obtenir une valeur précise d'électricité consommée.

Nous avons estimé la consommation en électricité d'une salle de bloc en cours d'utilisation. Nous nous sommes appuyés sur les informations qui nous ont été données par les ingénieurs du CHU de Lille à propos de la consommation électrique des salles de bloc opératoire. Cette consommation se divise en consommation des Centrales de Traitement d'Air (CTA) et en consommation des autres appareils électriques.

Les CTA sont responsables de la ventilation ainsi que du contrôle thermique du bloc opératoire, et elles fonctionnent à l'énergie électrique. La consommation annuelle des CTA pour les salles du bloc des urgences de l'Hôpital Roger Salengro a été estimée par les ingénieurs du CHU de Lille.

La consommation électrique d'une salle de bloc, hors CTA, a été estimée à partir de la consommation des salles de chirurgie pédiatrique de l'Hôpital Jeanne de Flandres.

Les consommations électriques recueillies sont :

- CTA : 61155 kW annuellement en moyenne pour les salles 1 et 2 du bloc des urgences, soit 6,98 kWh ;
- Consommation électrique autre que CTA : 28,9 kW/j, soit 1,20 kWh.

La consommation électrique estimée d'une salle du bloc des urgences est donc :

$$6,98 + 1,20 = 8,18 \text{ kWh.}$$

Selon l'ADEME, le facteur d'émission pour l'utilisation d'électricité en France en 2019, est de 60,7 g eqCO₂/kWh (28).

Le facteur d'émission pour la consommation d'électricité utilisé dans notre étude, FE_{elec}, exprimé en grammes équivalent CO₂ par heure d'utilisation d'une salle de bloc est donc de :

$$8,18 \times 60,7 = 496,5 \text{ g eqCO}_2/\text{h.}$$

Pour obtenir les émissions carbone liées à la consommation d'électricité, nous avons multiplié la durée d'occupation de la salle, en heures, par le facteur de conversion FE_{elec}.

5. Calcul des facteurs d'émission du scope 3

Facteurs d'émission des dispositifs médicaux à usage unique

Selon la méthode d'analyse en cycle de vie : production

Les données de l'empreinte carbone de production des dispositifs médicaux à usage unique

(DM) ne sont pas connues par les pharmacies hospitalières et non fournies par les fabricants.

Nous avons estimé cette empreinte carbone en utilisant la composition des DM et les facteurs de conversion des matériaux donnés par l'ADEME.

Pour la plupart des DM, nous disposons uniquement de la liste des composants, sans mention du poids relatif de chacun de ces composants. Ces informations ont été obtenues sur internet auprès des fabricants ou des revendeurs de DM.

Lorsqu'un DM était composé d'un mélange de plusieurs types de plastique, nous avons utilisé le facteur de conversion moyen pour le plastique sur l'ensemble du DM.

Lorsqu'un DM était composé d'un mélange de plastique et de métal, nous avons pesé séparément la partie métallique et la partie plastique, puis utilisé leur facteur de conversion respectifs. En cas de mélange de plastiques, nous avons utilisé le facteur de conversion moyen pour le plastique.

Les facteurs d'émission pour les matériaux sont les suivants (28):

- Acier : $FE_{acier} = 2,211 \text{ g eqCO}_2/\text{g}$;
- Plastique moyen : $FE_{plastique_moyen} = 2,383 \text{ g eqCO}_2/\text{g}$;
- Polyéthylène Basse Densité : $FE_{PEBD} = 2,09 \text{ g eqCO}_2/\text{g}$;
- Polyéthylène Haute Densité : $FE_{PEHD} = 1,92 \text{ g eqCO}_2/\text{g}$;
- Polyéthylène téréphtalate : $FE_{PET} = 3,27 \text{ g eqCO}_2/\text{g}$;
- Polychlorure de vinyle : $FE_{PVC} = 1,87 \text{ g eqCO}_2/\text{g}$;
- Polypropylène : $FE_{PP} = 2 \text{ g eqCO}_2/\text{g}$;
- Nylon : $FE_{nylon} = 7,63 \text{ g eqCO}_2/\text{g}$;
- Coton : $FE_{coton} = 20 \text{ g eqCO}_2/\text{g}$;
- Pile LR6 ou AA : $FE_{pile} = 136 \text{ g eqCO}_2/\text{pile}$.

Selon la méthode d'analyse en cycle de vie : transport

Afin de calculer l'empreinte carbone liée au transport des dispositifs médicaux, nous nous sommes basés sur le pays de fabrication du dispositif médical, lorsque cette donnée était disponible. Dans le cas contraire, nous avons utilisé l'adresse du siège social du fabricant.

Nous avons ensuite utilisé les facteurs de conversion associés au transport de marchandises, selon la Base Carbone®. Nous ne disposions pas de l'information sur le mode de transport du DM jusqu'au CHU de Lille, nous avons donc estimé l'empreinte carbone de ce transport *a minima*.

En cas de transport provenant du continent Européen, nous avons pris en compte le facteur d'émission $FE_{transport_routier}$ pour un trajet en poids lourd de 3,5 à 7,5 tonnes jusqu'au CHU de Lille. En cas de transport extra-européen, nous avons utilisé le facteur d'émission $FE_{transport_maritime}$ pour un trajet en navire porte-conteneur jusqu'au port de Dunkerque, puis $FE_{transport_routier}$ pour un trajet du port de Dunkerque jusqu'au CHU de Lille.

Le calcul de la distance maritime à parcourir a été réalisé à l'aide du site internet sea-distances.org (29).

D'après la Base Carbone®, $FE_{transport_routier} = 0,366 \text{ kg eqCO}_2/\text{t.km}$

$FE_{transport_maritime} = 8,47 \times 10^{-3} \text{ kg eqCO}_2/\text{t.km}$ (28).

Selon la méthode des ratios monétaires

Pour l'analyse en ratio monétaire, nous avons utilisé le facteur d'émission de l'ADEME pour les dispositifs médicaux : $RM_{DM} = 315 \text{ g eqCO}_2/€$.

Calcul des facteurs d'émission du transport des membres du personnel

Nous avons recueilli le ou les modes de transport du personnel, ainsi que le kilométrage associé. Les émissions carbone liées au transport sont le produit du kilométrage aller et retour par les facteurs de conversion appropriés, en fonction du mode de transport choisi.

Selon l'ADEME, les facteurs d'émission pour le transport sont (28) :

- Marche à pied : $FE_{\text{pied}} = 0 \text{ g eqCO}_2/\text{km}$;
- Vélo : $FE_{\text{vélo}} = 0 \text{ g eqCO}_2/\text{km}$;
- Vélo électrique : $FE_{\text{vélo_élec}} = 11 \text{ g eqCO}_2/\text{km}$;
- Trotinette électrique : $FE_{\text{trotinette_élec}} = 24,9 \text{ g eqCO}_2/\text{km}$;
- Voiture essence : $FE_{\text{voiture_essence}} = 198 \text{ g eqCO}_2/\text{km}$;
- Voiture diesel : $FE_{\text{voiture_diesel}} = 186 \text{ g eqCO}_2/\text{km}$;
- Moto : $FE_{\text{moto}} = 60,4 \text{ g eqCO}_2/\text{km}$;
- Bus : $FE_{\text{bus}} = 129 \text{ g eqCO}_2/\text{km}$;
- Métro / Tram : $FE_{\text{métro}} = 3 \text{ g eqCO}_2/\text{km}$;
- Train (TER) : $FE_{\text{train}} = 26,5 \text{ g eqCO}_2/\text{km}$.

Nous avons ensuite divisé les émissions carbone calculées par la durée totale de la journée de travail du membre du personnel, puis multiplié le résultat par la durée de l'opération afin de ne retenir que les émissions carbone en lien avec la chirurgie.

Calcul du facteur d'émission de la désinfection chirurgicale des mains

La consommation moyenne en eau d'une désinfection chirurgicale des mains est de 20,2 L (30). Nous avons multiplié cette valeur par le nombre de désinfection chirurgicale des mains effectués lors de l'intervention pour obtenir une estimation de la consommation d'eau.

D'après la Base Carbone® (28), le facteur d'émission pour l'eau de réseau FE_{eau} est de 0,132 g eqCO₂/L , soit un total de $0,132 \times 20,2 = 2,66$ g eqCO₂ / désinfection chirurgicale des mains.

Calcul du facteur d'émission de la stérilisation des instruments chirurgicaux stérilisables

Nous avons estimé l'empreinte carbone de la stérilisation hospitalière via les travaux de Lemonnier et al. à l'hôpital Cochin à Paris en 2021 (31). Ces travaux donnent une émission carbone de 12 g par point S de stérilisation, pour une stérilisation à la vapeur d'eau.

Le point S de stérilisation, ou unité d'œuvre de stérilisation, est un indicateur utilisé par les pharmacies hospitalières afin d'évaluer le coût de la stérilisation (32). Elles indiquent un nombre de 30 points S pour les compositions stérilisées comportant de 2 à 10 dispositifs médicaux (DM) et de 110 points S pour les compositions de 10 à 60 DM.

Les équipes de chirurgiens utilisent 3 boites d'instruments chirurgicaux par appendicectomie, 1 comportant entre 2 et 10 DM, et 2 comportant entre 10 et 60 DM.

Le facteur de conversion $FE_{\text{sté}}$ pour la stérilisation des instruments chirurgicaux est de $30 \times 12 + 110 \times 2 \times 12 = 3000$ g eqCO₂ / appendicectomie.

Calcul du facteur d'émission de la production d'oxygène médical

Nous avons utilisé le facteur d'émission pour la production d'oxygène liquide qui nous a été donné par la société Air Liquide, fournisseur d'oxygène médical au CHU de Lille. Ce facteur d'émission n'est pas publié. D'après la société Air Liquide, la production d'un m³ d'oxygène liquide est associée à l'émission de 62,3 kg eqCO₂. La masse volumique de l'oxygène

liquide est de 1141 kg/m^3 (33).

Ainsi, la production d'un litre d'oxygène liquide est associée à l'émission de :

$$62,3 / 1141 = 0,0546 \text{ kg eqCO}_2.$$

Un litre d'oxygène liquide donne 840 litres d'oxygène gazeux (34).

Le facteur d'émission associé à la production d'un litre d'oxygène gazeux est :

$$FE_{O_2_gaz} = 54,6 / 840 = 0,065 \text{ g eqCO}_2/L.$$

Calcul du facteur d'émission de l'élimination des déchets

Nous avons utilisé les facteurs d'émission de l'ADEME concernant l'élimination des déchets hospitaliers (35) :

$$FE_{DAOM} = 363 \text{ g eqCO}_2/\text{kg} \text{ et } FE_{DASRI} = 965 \text{ g eqCO}_2/\text{kg}.$$

Calcul du facteur d'émission de la blanchisserie hospitalière

Nous avons estimé l'empreinte carbone de la blanchisserie de l'hôpital en utilisant les données du bilan carbone réalisé par une blanchisserie hospitalière à Vienne (36). Cette blanchisserie a traité 1029 tonnes de linge en 2015 pour un bilan carbone® de 483 t eqCO₂, soit un $FE_{blanchisserie} = 469,4 \text{ g eqCO}_2/\text{kg}$.

Le linge utilisé lors d'une appendicectomie comprend les draps et alèses servant à recouvrir la table d'opération et le patient, ainsi que les tenues de bloc opératoire portées par les membres du personnel.

Nous avons pesé les draps, alèses et tenues utilisés au CHU de Lille. Le poids des draps

et alèses est de 1,7 kg. Le poids des tenues est de 550g pour une tenue complète (haut et bas). Nous avons utilisé les informations recueillies sur le transport du personnel pour savoir combien de membre du personnel soignant étaient présents, et donc combien de tenues ont été utilisées.

Calcul du facteur d'émission des médicaments utilisés

Nous avons calculé le facteur d'émission des médicaments utilisés par la méthode de l'analyse en ratio monétaire, car nous ne disposions pas d'éléments suffisants pour réaliser une analyse en cycle de vie.

Nous avons utilisé le facteur d'émission de l'ADEME : $RM_{\text{médicament}} = 380 \text{ g eqCO}_2/\text{€}$.

Calcul du facteur d'émission de la production des équipements de bloc utilisés

Nous avons estimé l'empreinte carbone du mobilier technique de la salle d'opération par la technique d'analyse en ratio monétaire.

Nous avons utilisé le facteur d'émission de l'ADEME concernant les machines et équipements : $RM_{\text{machine}} = 700 \text{ g eqCO}_2/\text{€}$.

Les principaux équipements de bloc opératoire, ainsi que leur prix et leur durée de vie estimée sont reportés dans le tableau 1. Ces données ont été obtenues auprès des ingénieurs du CHU de Lille.

Tableau 1. Prix et durée de vie des principaux équipements du bloc opératoire

Equipement	Durée de vie (année)	Prix (€)
Table d'opération	15	90 000 €
Respirateur d'anesthésie Aysis + monitoring	12	40 000 €
Colonne de coelioscopie	12	42 000 €
Bistouri électrique	12	14 000 €
Scialytique	15	22 000 €

L'empreinte carbone liée à une seule chirurgie se calcule selon la formule suivante :

$$EC_{chir} = t_{chir} \frac{RM_{machine} \times prix}{DV_{machine}}$$

Où EC_{chir} = Empreinte carbone liée à la production de l'appareil, pour la chirurgie étudiée

t_{chir} = durée de la chirurgie étudiée, en minutes

$RM_{machine}$ = Facteur d'émission en ratio monétaire pour les machines

$DV_{machine}$ = durée de vie de l'équipement, en minutes.

Résultats

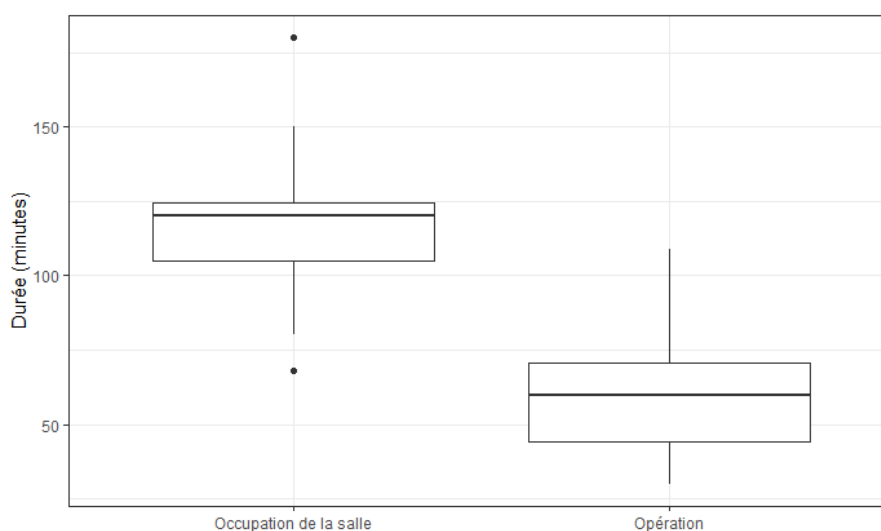
I. Caractéristiques des appendicectomies étudiées

31 appendicectomies ont été incluses entre le 10 mai et le 10 août 2021. Aucune chirurgie incluse n'a rencontré de critère d'exclusion en cours d'intervention.

L'âge médian des patients était de 32,0 [22,0 ; 44,0] ans. Pour 23 opérations (74,2%), le patient était de sexe féminin. Il y a eu 7 inclusions (22,6%) en horaires de nuit (entre 20h et 08h).

Le temps médian d'occupation de la salle d'opération était de 120,0 [105,0 ; 124,5] minutes pour une durée médiane d'intervention de 60,0 [44,0 ; 70,5] minutes (figure 3).

Figure 3 Temps d'occupation de la salle et durée d'intervention



II. BEGES d'une appendicectomie

1. Anesthésie

Gaz médicaux

Le desflurane et le protoxyde d'azote n'ont pas été utilisés lors des appendicectomies étudiées. L'agent halogéné utilisé pour chaque appendicectomie était le sévoflurane.

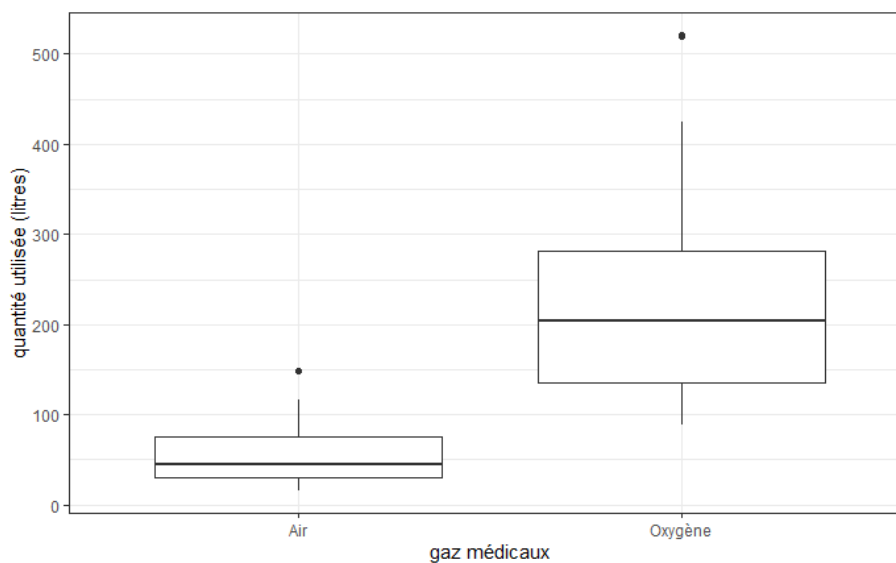
L'empreinte carbone médiane des gaz halogénés était de 7,4 [5,8 ; 9,5] kg eqCO₂, et celle de l'oxygène médical de 1,3.10⁻² [0,9.10⁻²; 1,8.10⁻²] kg eqCO₂.

La quantité de gaz utilisée ainsi que les facteurs d'émission et l'empreinte carbone correspondante sont reportés dans le tableau 2 et la figure 4.

Tableau 2 Consommation et empreinte carbone des gaz médicaux d'anesthésie

Gaz médical	Quantité consommée	Facteur d'émission	Empreinte carbone médiane [IQ 25 ; IQ 75] en kg eqCO ₂
Sévoflurane	14,0 [11,0 ; 18,0] ml	0,5 kg eqCO ₂ /ml	7,4 [5,8 ; 9,5]
Desflurane	0,0 ml	5,3 kg eqCO ₂ /ml	0
Oxygène	204,0 [136,0 ; 281,5] L	6,5.10 ⁻⁵ kg eqCO ₂ /L	1,3.10 ⁻² [0,9.10 ⁻² ; 1,8.10 ⁻²]
Air	45,0 [30,8 ; 74,8] L	<i>inconnu</i>	<i>inconnu</i>
Total			7,5 [5,8 ; 9,6]

Figure 4 Quantités d'air et d'oxygène utilisées



Médicaments

Le nombre médian de médicaments utilisés par opération était de 13 [11,5 ; 16,5]. Le prix médian de l'ensemble des médicaments par opération était de 31,4 [25,7 ; 34,8] €.

La liste des médicaments utilisés, ainsi que leur tarif unitaire et leur équivalent carbone est reportée dans le tableau 3.

L'empreinte carbone médiane totale des médicaments était de 11,9 [9,8 ; 13,2] kg eqCO₂.

Tableau 3. Equivalent carbone, prix et nombre moyen de médicaments utilisés au cours d'une appendicectomie

Médicament	Prix	Equivalent carbone (g EqCO ₂)	Nombre moyen d'unités utilisées par opération (+/- écart type)	Nombre d'opération où le médicament a été utilisé (%)
Atracurium 5 ml	1,7 €	653,7	0,3 (+/- 0,5)	10 (32,4 %)
Atropine 1 ml	0,2 €	77,3	0,8 (+/- 1,3)	11 (35,5 %)
Augmentin 2 g	4,5 €	1700,4	0,4 (+/- 0,5)	13 (41,9 %)
Betadine alcoolique	1,4 €	543,4	1 (+/- 0)	31 (100 %)
Cefoxitine 2 g	17,1 €	6504,2	0,6 (+/- 0,6)	18 (58,1 %)
Cisatracurium 5 ml	1,8 €	684,0	0,7 (+/- 0,5)	21 (67,7 %)
Dexamethasone 1 ml	0,9 €	333,0	1,2 (+/- 1)	20 (64,5 %)
Droleptan 1 ml	0,7 €	262,2	0,2 (+/- 0,4)	5 (16,1 %)
Ephedrine 10 ml	0,4 €	135,3	0,3 (+/- 0,4)	8 (25,8 %)
Gentamicine 80 mg	5,2 €	1963,2	0,1 (+/- 0,7)	1 (3,2 %)
Gentamicine 160 mg	5,2 €	1963,2	1,2 (+/- 1,7)	11 (35,5 %)
Lidocaine 20 ml	6,1 €	2318,8	0,6 (+/- 0,5)	19 (61,3 %)
Metronidazole 100 ml	0,4 €	166,6	1 (+/- 1)	17 (54,8 %)
NaCl 0,9% 20 ml	0,1 €	41,8	0,1 (+/- 0,4)	3 (9,7 %)
NaCl 0,9% 50 ml	0,5 €	173,9	0,2 (+/- 0,5)	6 (19,4 %)
NaCl 0,9% 500 ml	0,7 €	255,1	0,1 (+/- 0,3)	2 (6,5 %)
NaCl 0,9% 3000 ml	2,4 €	927,2	0,5 (+/- 0,6)	14 (45,2 %)
Nefopam 2 ml	0,4 €	166,2	0,7 (+/- 0,5)	20 (64,5 %)
Paracetamol 100 ml	0,6 €	245,1	0,9 (+/- 0,3)	27 (87,1 %)
Plasmalyte 500 ml	0,8 €	301,4	1,5 (+/- 0,6)	31 (100 %)
Propofol 20 ml	0,6 €	216,4	1,9 (+/- 0,4)	31 (100 %)
Prostigmine 1 ml	0,5 €	174,0	0,9 (+/- 2,2)	5 (16,1 %)
Rocuronium 5 ml	3,5 €	1327,8	0,1 (+/- 0,5)	2 (6,5 %)
Ropivacaine 20 ml	2,0 €	760,0	0,3 (+/- 0,5)	9 (29 %)
Sugammadex 2 ml	75,3 €	28598,3	0 (+/- 0,2)	1 (3,2 %)
Suxamethonium 2 ml	1,4 €	517,9	0,1 (+/- 0,3)	2 (6,5 %)
Tramadol 2 ml	0,2 €	75,8	0,5 (+/- 0,5)	14 (45,2 %)

Dispositifs médicaux

Le nombre médian de dispositifs médicaux d'anesthésie utilisés par opération était de 35 [32 ; 42]. Le prix médian par opération pour l'ensemble de ces dispositifs était de 11,3 [7,5 ; 12,7] €. Le continent de fabrication de ces dispositifs médicaux est reporté dans la figure 5.

La liste des dispositifs médicaux d'anesthésie, avec le pays de fabrication, la composition, le tarif unitaire, l'empreinte carbone correspondante et le nombre moyen d'unité utilisées par intervention est reportée dans le tableau 4.

L'empreinte carbone totale médiane des dispositifs médicaux d'anesthésie selon l'analyse en cycle de vie était de 1,0 [0,8 ; 1,2] kg eqCO₂ pour la fabrication, et 0,1 [0,1 ; 0,2] kg eqCO₂ pour leur distribution jusqu'au CHU de Lille. L'empreinte carbone de leur élimination est comptabilisée de manière globale avec l'ensemble des autres éléments jetés dans la partie déchets (voir ci-dessous).

L'empreinte carbone médiane totale des dispositifs médicaux d'anesthésie selon l'analyse en ratio monétaire était de 3,6 [2,4 ; 4,0] kg eqCO₂.

Figure 5 Continent de fabrication des DM d'anesthésie

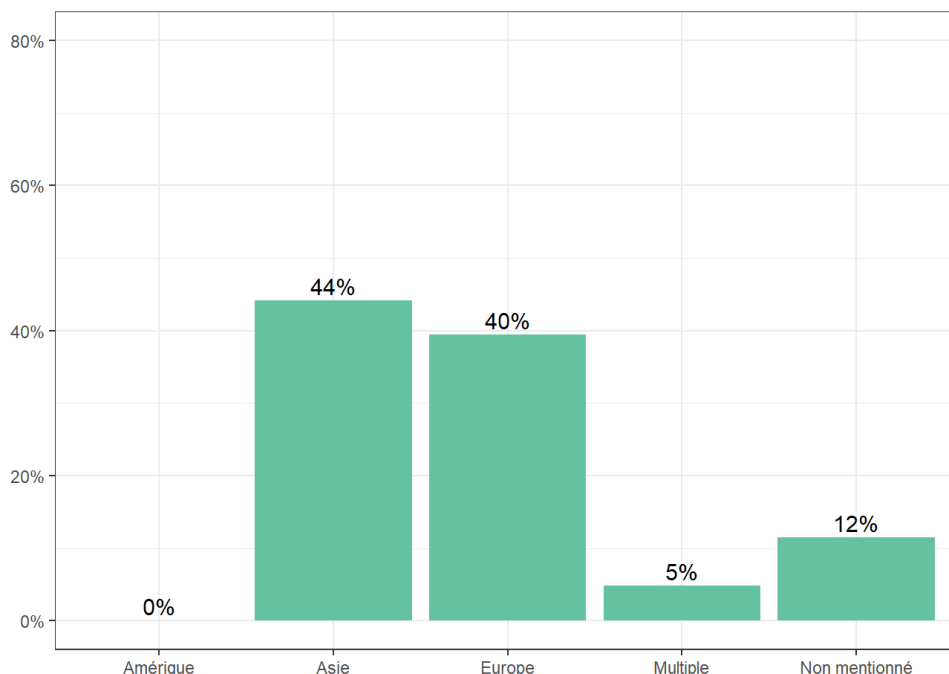


Tableau 4. Caractéristiques, équivalent CO₂ et nombre moyen de DM en anesthésie

DM	Prix unitaire	Pays de fabrication	Poids (en g)	Matériaux	Equivalent carbone ACV (g EqCO ₂)	Equivalent carbone RM (g EqCO ₂)	Nombre moyen d'unités utilisées par opération (+/- écart type)	Nombre d'opération où le DM a été utilisé (%)
Airtraq	74,77 €	Chine	61,20	Plastique	157,0	23552,8	0 (+/- 0,2)	1 (3,2 %)
Bouchon	0,03 €	Non mentionné	0,90	Polyethylene	1,9	9,5	0,5 (+/- 0,8)	10 (32,3 %)
Cathéter 24G	0,34 €	Italie	3,70	Acier, plastique	10,9	106,1	0 (+/- 0,2)	1 (3,2 %)
Cathéter 22G	0,33 €	Italie	4,00	Acier, plastique	11,8	105,4	0 (+/- 0,2)	1 (3,2 %)
Cathéter 20G	0,33 €	Italie	7,10	Acier, plastique	21,0	104,3	0,8 (+/- 0,5)	23 (74,2 %)
Catheter 18G	0,33 €	Italie	7,10	Acier, plastique	21,0	104,5	0,6 (+/- 0,6)	15 (48,4 %)
Compresses non steriles	0,01 €	Non mentionné	1,10	Coton	22,1	1,6	0,1 (+/- 0,4)	2 (6,5 %)
Couverture chauffante	4,53 €	Allemagne	104,60	Plastique	274,1	1427,5	0,5 (+/- 0,5)	16 (51,6 %)
Electrodes	0,04 €	Chine	1,05	Acier, plastique	2,7	12,0	5,3 (+/- 0,7)	31 (100 %)
Filtre et raccord annelé	1,15 €	Italie	44,10	Polychlorure de vinyle	121,2	362,4	1 (+/- 0)	31 (100 %)
Gants L (paire)	0,08 €	Non mentionné	12,50	Latex	8,6	25,8	0,4 (+/- 0,8)	7 (22,6 %)
Gants M (paire)	0,08 €	Non mentionné	11,40	Latex	8,5	26,2	1 (+/- 1,2)	18 (58,1 %)
Gants S (paire)	0,08 €	Non mentionné	10,50	Latex	8,4	26,1	0,6 (+/- 1)	10 (32,3 %)
Grandes compresses (par 5)	0,01 €	Chine	7,80	Coton	157,4	2,6	0,5 (+/- 0,5)	15 (48,4 %)
Canule de Guedel orange	0,21 €	Lithuanie	12,40	Polyethylene	22,6	65,9	0,7 (+/- 0,5)	22 (71 %)
Lame de laryngoscopie t3	0,90 €	Non mentionné	62,20	Acier	143,0	283,5	0,1 (+/- 0,3)	2 (6,5 %)
Lame laryngoscopie t4	0,90 €	Non mentionné	72,80	Acier	167,3	283,5	0,9 (+/- 0,3)	29 (93,6 %)
Mandrin long béquillé	14,14 €	Non mentionné	15,80	Plastique	38,9	4453,1	0,1 (+/- 0,3)	2 (6,5 %)
Masque de ventilation L	1,10 €	Chine	54,40	Polychlorure de vinyle	113,5	347,7	0,4 (+/- 0,5)	13 (41,9 %)
Masque de ventilation M	1,11 €	Chine	48,10	Polychlorure de vinyle	100,6	348,5	0,6 (+/- 0,5)	18 (58,1 %)
Pansement hydrofilm 6x7cm	0,14 €	Allemagne	2,70	Plastique	7,1	44,6	1 (+/- 0,5)	28 (90,3 %)
Pansement hydrofilm	0,23 €	Allemagne	6,20	Plastique	16,5	71,7	0,1 (+/- 0,3)	3 (9,7 %)
Perfuseur	0,46 €	Non mentionné	34,50	Plastique	86,0	144,9	1 (+/- 0,4)	29 (93,6 %)
Perfuseur avec regulateur de débit	0,77 €	Portugal	34,00	Plastique	105,4	242,2	0,2 (+/- 0,4)	5 (16,1 %)
Prolongateur	0,38 €	Non mentionné Conditionné en Tunisie	11,70	Polychlorure de vinyle	22,5	119,4	0,6 (+/- 0,8)	13 (41,9 %)
Robinet 3 voies	0,18 €	Europe	5,10	Polyethylene	11,6	56,1	0,2 (+/- 0,4)	6 (19,4 %)
Sachet de recueil gastrique	0,21 €	inconnu	50,60	Plastique	120,6	66,1	0,3 (+/- 0,4)	8 (25,8 %)
Seringue 2ml	0,02 €	Espagne	2,60	Polypropylène	6,6	5,2	0,9 (+/- 1)	17 (54,8 %)
Seringue 5ml	0,02 €	Espagne	4,50	Polypropylène	11,2	6,6	3,5 (+/- 1,2)	31 (100 %)
Seringue 10ml	0,03 €	Espagne	6,80	Polypropylène	17,0	9,6	2,2 (+/- 0,9)	30 (96,8 %)
Seringue 20ml	0,04 €	Espagne	10,60	Polypropylène	26,4	13,5	2,5 (+/- 0,6)	31 (100 %)
Seringue 50ml	0,18 €	Espagne	36,60	Polypropylène	89,6	57,9	0 (+/- 0,2)	1 (3,2 %)
Seringue gavage 50ml	0,19 €	France	36,60	Polypropylène	76,5	59,9	0,4 (+/- 0,6)	10 (32,3 %)
Sonde d'aspiration orange	0,08 €	Non mentionné	10,60	Polychlorure de vinyle	20,5	23,8	0,4 (+/- 0,5)	13 (41,9 %)
Sonde d'aspiration rouge	0,08 €	Non mentionné	11,40	Polychlorure de vinyle	22,1	23,8	0,2 (+/- 0,4)	6 (19,4 %)
Sonde d'aspiration verte	0,08 €	Non mentionné	8,50	Polychlorure de vinyle	16,5	23,8	0,3 (+/- 0,5)	9 (29 %)
Sonde gastrique t18	0,71 €	France	31,10	Polychlorure de vinyle	60,6	224,0	0,3 (+/- 0,4)	8 (25,8 %)
Sonde d'intubation t7	1,16 €	Malaisie	24,30	Polychlorure de vinyle	48,9	366,4	0,7 (+/- 0,5)	21 (67,7 %)
Sonde d'intubation t7,5	1,36 €	Malaisie	26,20	Polychlorure de vinyle	52,8	427,4	0,3 (+/- 0,5)	10 (32,3 %)
Trocart de prélèvement	0,01 €	Chine	1,10	Acier, polypropylène	2,3	4,2	8,2 (+/- 1,6)	31 (100 %)
Valve avec site d'injection	0,50 €	France, conditionné en Tunisie	2,60	Plastique	6,4	156,9	1,2 (+/- 0,4)	31 (100 %)

ACV : Cycle de vie

RM : Ratio monétaire

2. Chirurgie

Gaz médicaux

La consommation médiane en CO₂ utilisé en coelioscopie était de 40,7 [25,1 ; 60,3] litres.

L'empreinte carbone médiane du CO₂ de la coelioscopie était de 0,1 [0,0 ; 0,1] kg eqCO₂.

Dispositifs médicaux

Le nombre médian de dispositifs médicaux de chirurgie utilisés par opération était de 41 [39,5 ; 43,0]. Le prix médian par opération pour l'ensemble de ces dispositifs était de 144,5 [136,1 ; 195,7] €. La provenance des dispositifs médicaux utilisés en chirurgie est reportée dans la figure 8.

La liste des dispositifs médicaux de chirurgie, avec le pays de fabrication, la composition, le tarif unitaire, l'empreinte carbone correspondante et le nombre moyen d'unité utilisées, est reportée dans le tableau 5.

L'empreinte carbone médiane des dispositifs médicaux à usage unique de chirurgie selon l'analyse en cycle de vie était de 7,3 [7,1 ; 9,6] kg eqCO₂, dont 6,8 [6,6 ; 9,2] kg eqCO₂ pour la fabrication, et 0,4 [0,4 ; 0,5] kg eqCO₂ pour leur transport jusqu'au CHU de Lille.

L'élimination des dispositifs médicaux est comptabilisée avec l'empreinte carbone de la production de déchets (voir ci-dessous).

L'empreinte carbone médiane des dispositifs médicaux de chirurgie à usage unique selon l'analyse en ratio monétaire était de 45,1 [42,5 ; 61,2] kg eqCO₂.

L’empreinte carbone médiane de la stérilisation des instruments chirurgicaux réutilisables était de 3,0 [3,0 ; 3,0] kg eqCO₂.

Figure 6. Continent de fabrication des DM de chirurgie

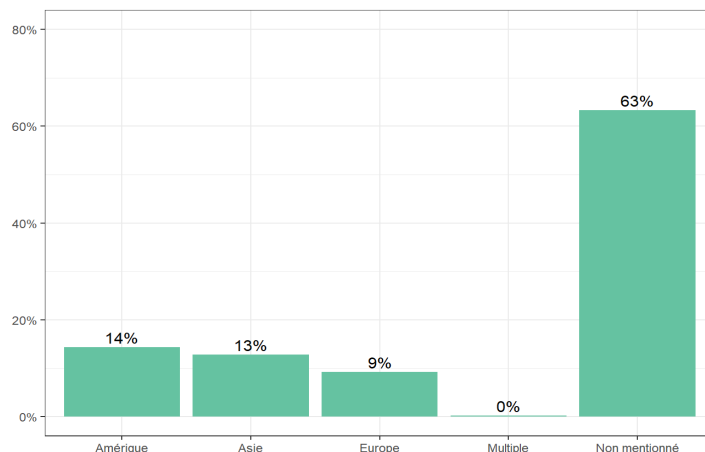


Tableau 5. Caractéristiques, équivalent CO₂ et nombre moyen de DM utilisés en chirurgie

DM	Prix unitaire	Pays de fabrication	Poids (en g)	Matériau(x)	Equivalent carbone ACV (g EqCO ₂)	Equivalent carbone RM (g EqCO ₂)	Nombre moyen d'unités utilisées par opération (+/- écart type) (%)	Nombre d'opération où le DM a été utilisé (%)
Bande collante	inconnu	Non mentionné	18,3	Polyéthylène	40,5	-	0,3 (+/- 0,5)	7 (22,6 %)
Blouses chirurgicales	1,65 €	Non mentionné	201,1	Polypropylène	444,4	520,4	2,4 (+/- 0,5)	31 (100 %)
Bocal d'aspiration 1,5L	1,20 €	Non mentionné	110	Plastique	262,1	378,0	1,1 (+/- 0,4)	31 (100%)
Bocal d'aspiration 3L	1,44 €	Non mentionné	180	Plastique	428,9	453,6	1 (+/- 0)	31 (100%)
Ciseaux de coelioscopie	19,32 €	Allemagne	38,6	Acier	102,1	6086,2	1 (+/- 0)	31 (100 %)
Colle	17,48 €	Non mentionné	6,5	Inconnu	17,0	5506,0	0,8 (+/- 0,4)	26 (83,9 %)
Compresse marquées	0,03 €	Non mentionné	33,2	Coton	670,1	10,5	1 (+/- 0,2)	31 (100 %)
Cosmopor	0,03 €	Espagne	2	Plastique	5,9	10,6	0,7 (+/- 1,1)	11 (35,5 %)
Drain de Blake	2,69 €	Israël, Etats-Unis	40	Silicone	inconnu	847,4	0,1 (+/- 0,3)	2 (6,5 %)
Endobag	7,26 €	République Tchèque	23,2	Plastique	64,8	2287,7	1 (+/- 0)	31 (100 %)
Endoloop	inconnu	République Dominicaine	58,4	Plastique	194,7	-	1,5 (+/- 0,5)	31 (100 %)
Fil fermeture de coelioscopie	1,74 €	Non mentionné	5,3	Plastique	15,0	549,1	1 (+/- 0,2)	30 (96,8 %)
Fil monocryl	4,65 €	Etats-Unis	3,6	Polymères de glycolide	0,9	1463,3	1 (+/- 0)	31 (100 %)
Gants stériles en latex	0,34 €	Malaisie	29,2	Latex	11,5	107,7	2,4 (+/- 2,5)	20 (64,5 %)
Gants stériles sans latex	0,79 €	Thaïlande	29,2	Plastique	11,9	248,5	2,7 (+/- 2,7)	20 (64,5 %)
Housse de camera	0,74 €	Non mentionné	53,8	Polyéthylène	119,6	234,3	1 (+/- 0)	31 (100 %)
Lame de bistouri	0,11 €	Non mentionné	1,6	Acier	3,7	33,7	1 (+/- 0,2)	31 (100 %)
Pansement americain	0,07 €	Non mentionné	18,5	Plastique	44,1	20,6	3,1 (+/- 0,4)	31 (100 %)
Pot de recueil	inconnu	Non mentionné	8,5	Plastique	20,3	-	1,1 (+/- 0,3)	31 (100 %)
Sac de recueil à instruments	0,21 €	Non mentionné	24,8	Plastique	71,0	66,1	1 (+/- 0,2)	31 (100 %)
Sachet de transport	inconnu	Non mentionné	14,5	Plastique	34,1	-	2,1 (+/- 0,5)	31 (100 %)
Set à badigeon	1,21 €	Allemagne / France	74,8	Coton, Nylon	221,4	381,2	1 (+/- 0)	31 (100 %)
Strycker	55,31 €	Etats-Unis	950	Pile, plastique	2856,2	17423,0	0,5 (+/- 0,5)	15 (48,4 %)
Trocart coelio	13,36 €	République Dominicaine		Plastique	41,4	4209,4	2 (+/- 0,2)	31 (100 %)
Trocart open	34,02 €	Etats-Unis	114,4	Plastique	280,7	10716,3	1,1 (+/- 0,5)	31 (100 %)
Trousse universelle	6,79 €	Non mentionné	900	Polypropylène 2/1989,1	324,6	2139,9	1 (+/- 0)	31 (100 %)
Tuyau d'insufflation	4,65 €	Non mentionné	128	Plastique	324,6	1464,1	1 (+/- 0)	31 (100 %)

ACV : Cycle de vie

RM : Ratio monétaire

3. Electricité

La consommation électrique par intervention était estimée en moyenne à 15,57 kW.

L'empreinte carbone médiane liée à la production de l'électricité consommée était de 1,0 [0,9 – 1,0] kg eqCO₂.

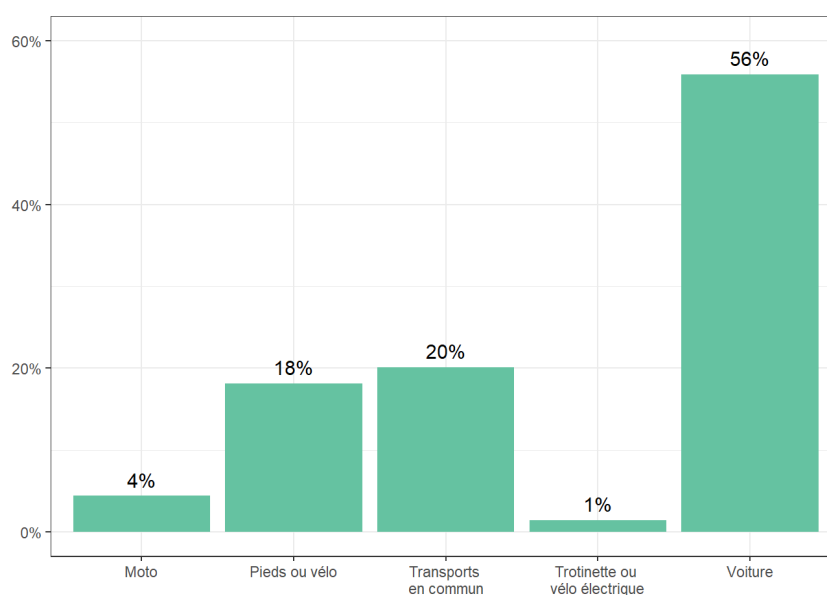
4. Personnel soignant

Le nombre médian de soignants par opération était de 7,0 [6,0 ; 7,0] soignants par opération.

Concernant le transport du personnel, il y avait une distance médiane de 7,0 [3,8 ; 15,3] km entre le domicile du personnel et le CHU de Lille. La répartition des modes de transport est reportée dans la figure 9. La durée médiane du temps de travail par personnel le jour de l'opération était de 10,0 heures [8,0 ; 12,0].

L'empreinte carbone médiane du transport du personnel était de 5,4 [2,4 ; 9,1] kg eqCO₂.

Figure 7. Répartition des modes de transport du personnel



Le nombre médian de lavages des mains chirurgicaux était de 2 [2,0 ; 3,0] par opération.

L'empreinte carbone médiane des désinfections chirurgicales des mains était de $5,3 \cdot 10^{-3}$ [$5,3 \cdot 10^{-3}$; $8 \cdot 10^{-3}$] kg eqCO₂.

L'empreinte carbone médiane de la lingerie était de 1,1 [1,0 ; 1,2] kg eqCO₂.

5. Equipements médicaux

L'empreinte carbone médiane des équipements médicaux était de 2,7 [2,4 ; 2,8] kg eqCO₂.

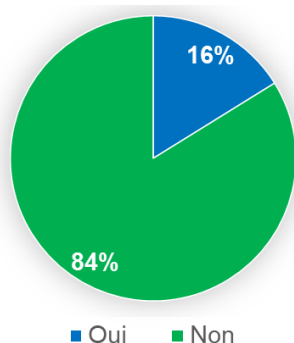
6. Déchets

Pour 26 opérations (83,9%), il n'y a pas eu de déchets de type DASRI (figure 4). Lorsque des poubelles de type DASRI étaient utilisées, le poids médian de DASRI était de 2,40 [1,10 ; 3,0] kg.

Le poids médian des poubelles de type DAOM étaient de 5,0 [3,8 ; 5,5] kg, et le poids médian total des poubelles (DASRI + DAOM) était de 5,3 [3,9 ; 5,7] kg.

L'empreinte carbone médiane des DASRI était 0,0 [0,0 ; 0,0] kg eqCO₂ et celle des DAOM de 1,8 [1,4 ; 2,0] kg eqCO₂.

Figure 8 Proportion d'utilisation de DASRI lors de l'opération



7. Bilan d'émissions de gaz à effet de serre de l'appendicectomie

Le BEGES médian de l'opération seule était de 44,9 [40,6 ; 48,6] kg eqCO₂ lors de l'analyse en cycle de vie pour les dispositifs médicaux et de 92,3 [80,2 ; 107,0] kg eqCO₂ lors de l'analyse par ratio monétaire. La répartition des postes d'émission est détaillée dans les figures 9 et 10.

Le scope 1 était responsable de 7,5 [5,9 ; 9,6] kg eqCO₂, le scope 2 de 1,0 [0,9 ; 1] kg eqCO₂, et le scope 3 de 36,6 [32,3 ; 40,2] kg eqCO₂ ou de 85,6 [71,0 ; 96,1] selon la méthodologie utilisée pour l'empreinte carbone des dispositifs médicaux (figures 11 et 12). La composition de chaque scope et les empreintes carbone associées sont reportées dans le tableau 6.

Figure 9. Empreinte carbone médiane d'une appendicectomie par poste d'émission (en kg eqCO₂)

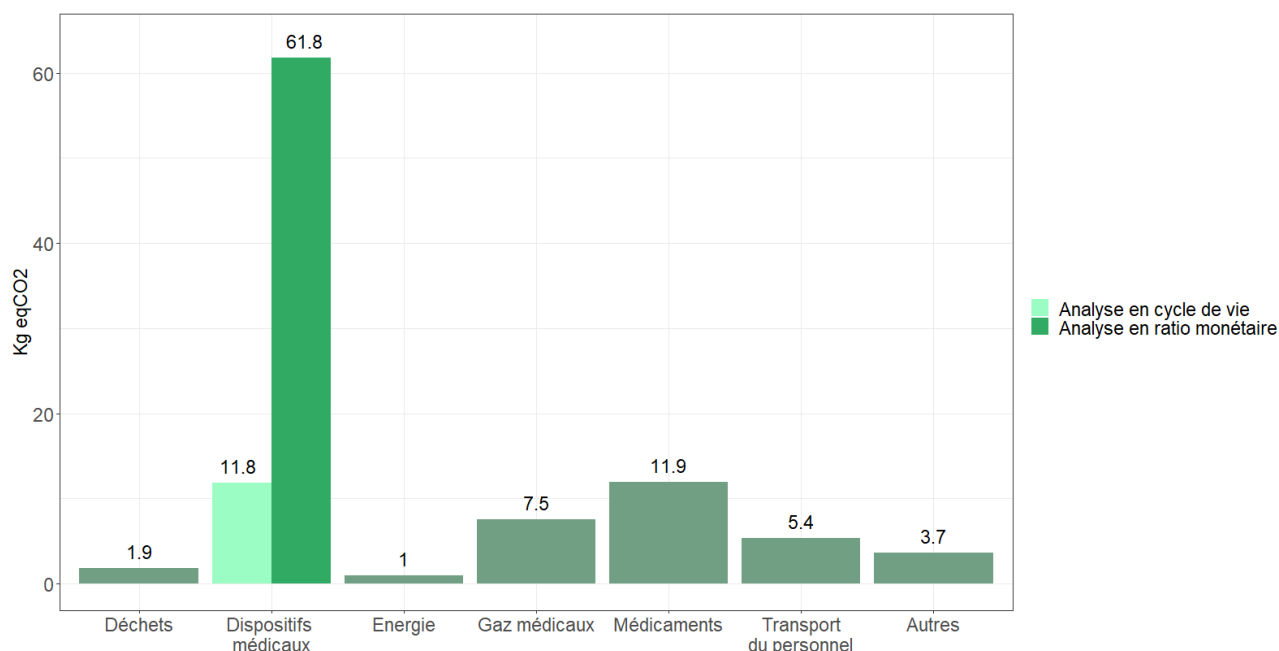


Figure 10. Répartition des postes d'émission carbone en analyse en cycle de vie

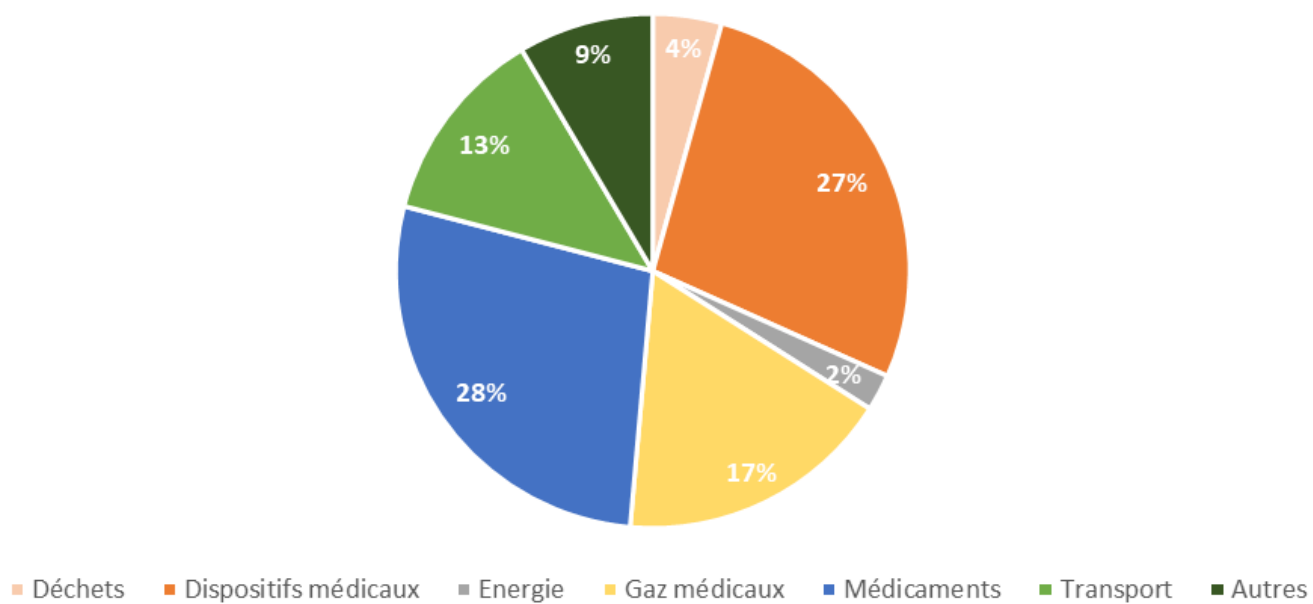


Figure 11. Répartition des scopes en fonction de leur empreinte carbone en analyse en cycle de vie

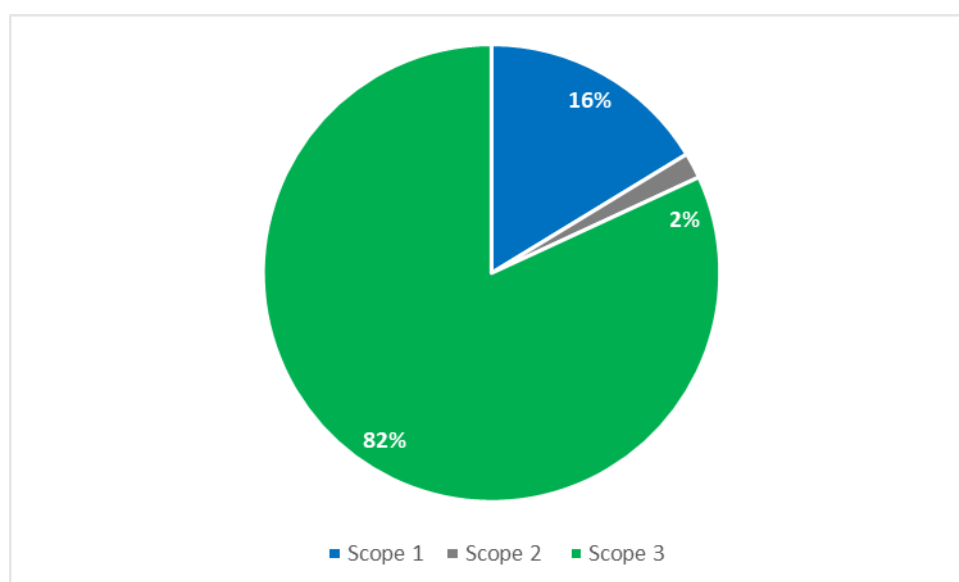
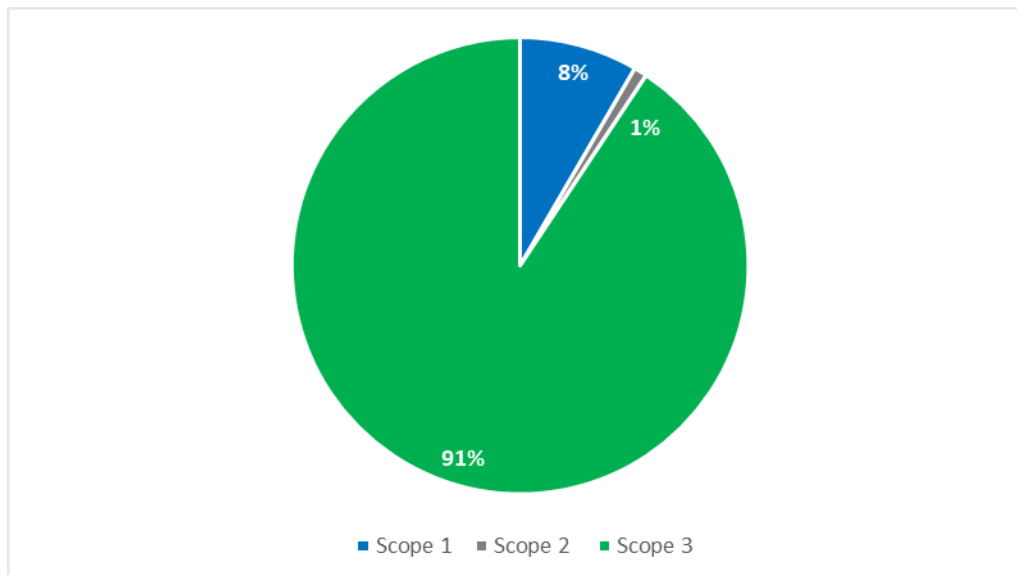


Figure 12. Répartition des scopes en fonction de leur empreinte carbone en analyse en ratio monétaire



L'empreinte carbone de l'hospitalisation liée à la chirurgie était estimée à 48,2 [48,1 ; 48,6] kg eqCO₂.

L'empreinte carbone médiane totale de la chirurgie d'appendicectomie, opération et hospitalisation comprises, était de 92,6 [89,2 ; 96,9] kg eqCO₂ lorsque l'empreinte carbone des DM était calculée selon la méthode de l'analyse en cycle de vie, et de 140,9 [128,5 ; 154,8] kg eqCO₂ selon la méthode des ratios monétaires.

Les figures 13 et 14 représentent la répartition du BEGES total entre le bloc opératoire et l'hospitalisation associée.

Tableau 6. Composition des différents scopes et empreintes carbone associées

Scope	Poste d'émission	Empreinte carbone médiane (IQ 25 ; IQ 75) en kg eqCO ₂	NA
Scope 1	Dioxyde de carbone	0,1 [0 ; 0,1]	3
	Sévoflurane	7,4 [5,8 ; 9,5]	0
Total scope 1		7,5 [5,9 ; 9,6]	
Scope 2	Electricité	1 [0,9 ; 1,0]	0
Total scope 2		1 [0,9 ; 1,0]	
Scope 3	DAOM	1,8 [1,4 ; 2,0]	3
	DASRI	0 [0 ; 0]	0
	DM d'anesthésie en ACV (fabrication + transport)	1,1 [0,9 ; 1,4]	0
	DM d'anesthésie en RM	3,6 [2,4 ; 4,0]	0
	DM de chirurgie en ACV (fabrication + transport)	7,3 [7,1 ; 9,6]	0
	DM de chirurgie en RM	45,1 [42,5 ; 61,2]	0
	Equipements médicaux	2,7 [2,4 ; 2,8]	0
	Lavage des mains	5,3.10 ⁻³ [5,3.10 ⁻³ ; 8.10 ⁻³]	0
	Lingerie	1,1 [1,0 ; 1,2]	0
	Médicaments	11,9 [9,8 ; 13,2]	0
	Oxygène	1,3.10 ⁻² [0,9.10 ⁻² ; 1,8.10 ⁻²]	0
	Stérilisation	3 [3,0 ; 3,0]	0
	Transport du personnel	5,4 [2,4 ; 9,1]	0
Total scope 3 (ACV pour les DM)		36,6 [32,3 ; 40,2]	
Total scope 3 (RM pour les DM)		85,6 [71,0 ; 96,1]	
Total opération avec DM en ACV		44,9 [40,6 ; 48,6]	
Total opération avec DM en RM		92,3 [80,2 ; 107,0]	

ACV : Analyse en Cycle de Vie

RM : Ratio Monétaire

Figure 13. Répartition du BEGES d'une appendicectomie selon l'analyse en cycle de vie

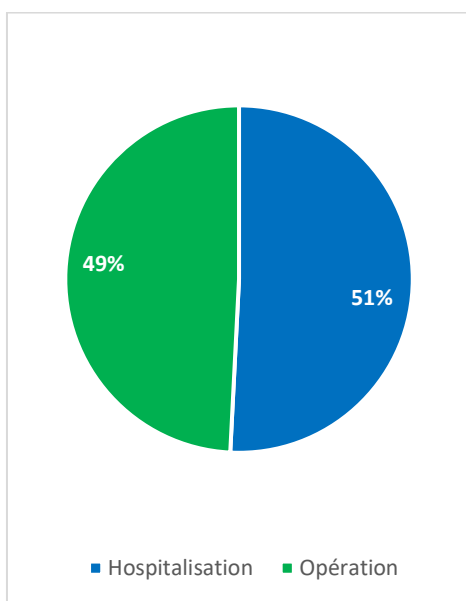
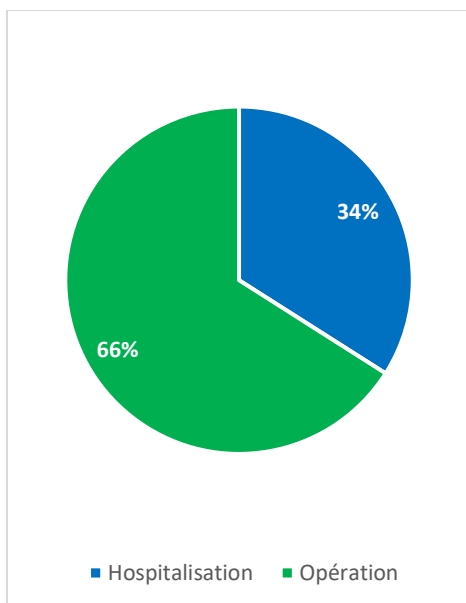


Figure 14. Répartition du BEGES d'une appendicectomie selon l'analyse en ratio monétaire



Discussion

1. Rappel des résultats principaux

Nous avons réalisé un bilan d'émission de gaz à effet de serre d'une chirurgie d'appendicectomie par voie coelioscopique chez l'adulte dans les blocs des urgences du CHU de Lille, en utilisant la méthodologie décrite par l'ADEME et par l'Association Bilan Carbone. En fonction de la méthodologie d'analyse choisie, le BEGES médian de cette chirurgie était estimé entre 44,9 [40,6 ; 48,6] kg eqCO₂ lorsque les dispositifs médicaux étaient étudiés en analyse en cycle de vie et 92,3 [80,2 ; 107,0] kg eqCO₂ lorsqu'ils étaient étudiés en analyse en ratio monétaire.

La majeure partie des émissions était liée aux dispositifs médicaux (chirurgicaux et anesthésiques, stérilisation intra-hospitalière incluse) avec 11,8 [11,1 ; 13,9] kg eqCO₂ en analyse en cycle de vie, et 61,8 [48,9 ; 67,7] kg eqCO₂ en analyse en ratio monétaire. Les médicaments étaient responsables de l'émission de 11,9 [9,8 ; 13,2] kg eqCO₂, les gaz halogénés de 7,4 [5,8 ; 9,5] kg eqCO₂ et le transport du personnel de 5,4 [2,4 ; 9,1] kg eqCO₂. L'empreinte carbone de l'hospitalisation liée à l'appendicectomie, bloc opératoire compris, était de 92,6 [89,2 ; 96,9] kg eqCO₂ en analyse en cycle de vie et de 140,9 [128,5 ; 154,8] kg eqCO₂ en analyse en ratio monétaire.

Les émissions carbone liées au bloc opératoire seul correspondent à un trajet en voiture aller-retour entre Paris et Lille, tandis que celles liées à l'hospitalisation pour appendicectomie, chirurgie comprise, correspondent à un trajet aller-retour entre Paris et Nantes (37).

2. Forces et limites de l'étude

Notre étude porte sur le développement durable en santé, un sujet d'intérêt assez récent en Médecine. Comme décrit dans l'introduction de ce travail, ce sujet est d'une importance capitale pour la santé publique mondiale, à moyen et long terme.

C'est, à notre connaissance, la première étude du genre en chirurgie digestive. Nous avons réalisé ici une étude prospective et observationnelle, limitant les éventuelles pertes d'informations. Toutes les chirurgies incluses l'ont été en conditions réelles d'exercice au bloc des urgences, de jour comme de nuit. Les données présentées dans notre travail sont donc représentatives d'une appendicectomie moyenne par voie coelioscopique, chez les patients de plus de 15 ans et 3 mois, au bloc des urgences du CHU de Lille. La procédure chirurgicale dans ce type d'intervention est standardisée (38), et nos résultats pourront servir de base de comparaison pour les études futures.

Nous avons pris en compte tous les éléments que nous pouvions recueillir pour la réalisation du BEGES d'une chirurgie d'appendicectomie, et en particulier chaque médicament et dispositif médical à usage unique employé au cours de l'anesthésie ou de la chirurgie. Nous n'avons cependant pas eu accès à toutes les données souhaitées, en particulier sur la production des dispositifs médicaux, leur stérilisation, et leur transport ce qui peut avoir conduit à une sous-estimation conséquente de l'empreinte carbone de la chirurgie d'appendicectomie lors de l'analyse en cycle de vie.

Aucun fabricant ne nous a communiqué l'empreinte carbone de la fabrication de ses produits, et la pharmacie de l'hôpital ne disposait pas non plus de cette information. Nous avons donc mené une analyse en cycle de vie pour estimer cette empreinte carbone, mais nous n'avons pas pu y intégrer le procédé de stérilisation des dispositifs médicaux à l'oxyde d'éthylène, par manque de donnée à ce sujet. La stérilisation à l'oxyde d'éthylène est un procédé à forte consommation en eau et en énergie, ainsi qu'en composés chimiques, qui

pourrait avoir un impact non négligeable sur l’empreinte carbone de la conception des DM.

(39)

Par ailleurs, les facteurs d’émission donnés par l’ADEME indiquent la quantité de CO₂ émise pour produire le matériau brut, et ne prennent pas en compte les étapes de transformation de ce matériau pour arriver au produit fini (40).

Enfin, la réglementation des dispositifs médicaux n’impose pas au fabricant de spécifier sur l’étiquette le lieu de fabrication, et lorsque la mention « made in » est présente sur une étiquette, cela signifie seulement que la dernière étape de fabrication a eu lieu dans le pays cité. De plus, il n’est pas rare que les différentes étapes de fabrication d’un DM aient lieu dans des usines différentes, parfois situées sur un autre continent. Seuls les fabricants peuvent obtenir des données fiables concernant l’empreinte carbone du transport de leurs produits. Dans notre étude nous avons estimé l’empreinte carbone d’un transport du produit fini par voie maritime, car 90% des marchandises mondiales transitent par cette voie (41). Ce moyen de transport est d’ailleurs le transport de marchandises le moins émetteur de carbone (28).

Par conséquent, notre empreinte carbone en analyse en cycle de vie pour les dispositifs médicaux est sous-estimée, au moins en ce qui concerne la production du DM, sa stérilisation et son transport. Ceci pourrait expliquer une partie de la différence d’empreinte carbone retrouvée avec l’analyse des DM en ratio monétaire, plus de 6 fois supérieure.

Nous avons estimé le coût carbone de l’hospitalisation complète avec le calcul de l’empreinte carbone moyenne d’une journée d’hospitalisation, en nous basant sur le BEGES du CHU de Lille en 2016. Les spécificités d’une hospitalisation pour une chirurgie d’appendicectomie ne sont pas prises en compte dans ce calcul, comme le passage aux urgences, la réalisation de nombreux bilans biologiques ou encore les imageries réalisées. De plus, le BEGES du CHU de Lille pourrait gagner en précision en intégrant le transport

du personnel, les différents consommables utilisés, les repas servis et les déchets produits par exemple, mais ces données sont à l'heure actuelle encore inconnues.

3. Commentaires des résultats et choix méthodologiques

La réalisation d'un BEGES reste une estimation de l'empreinte carbone d'un acte, qui permet de donner un ordre de grandeur des émissions carbone et d'identifier les principaux postes d'émission. La 1ère réalisation d'un BEGES permet de faire un état des lieux des pratiques, avant d'affiner cette estimation dans un second temps ou d'étudier l'efficacité de mesures de diminution du BEGES (23).

Nous avons choisi de présenter les résultats obtenus en fonction de la méthodologie utilisée pour l'analyse de l'empreinte carbone des dispositifs médicaux. En effet, l'analyse en cycle de vie est la méthode privilégiée lors de la réalisation d'un BEGES, mais du fait du manque de données disponibles, son utilisation nous conduit ici à une sous-estimation du BEGES. L'analyse en ratio monétaire est moins précise, mais permet cependant d'obtenir un ordre de grandeur du BEGES.

En analyse en cycle de vie, l'anesthésie apparaît comme plus émettrice de gaz à effet de serre que la chirurgie. Ce rapport s'inverse en analyse par ratio monétaire, lié au coût plus important des DM chirurgicaux par rapport aux DM d'anesthésie.

Certaines études scientifiques sur le calcul de l'empreinte carbone utilisent le logiciel Ecoivent (42,43). Ce logiciel recense plus de données que la Base Carbone®, et rend des résultats en termes d'impact carbone mais également à propos d'autres indicateurs tels que d'autres formes de pollution que celle liée aux gaz à effet de serre. Cependant, la licence de ce logiciel est onéreuse et son fonctionnement nécessiterait dans l'idéal l'expertise d'un

ingénieur spécialisé. Nous avons fait le choix d'utiliser les données gratuites et officielles françaises afin de permettre une meilleure reproductibilité de la méthode.

De nombreux facteurs de conversion n'étaient pas disponibles pour le CHU de Lille, c'est le cas notamment des facteurs de conversion concernant l'oxygène utilisé, du CO₂ utilisé, de la blanchisserie et de la stérilisation des instruments chirurgicaux. Nous avons choisi d'appliquer des facteurs de conversion équivalents, utilisés par d'autres études ou calculés pour d'autres établissements.

4. Concordance des résultats avec la littérature scientifique

Nos résultats, bien que concordants avec la méta-analyse de Rizan et al. (11) (de 6 à 814 kg eqCO₂ par chirurgie), sont inférieurs à ceux concernant des chirurgies équivalentes. C'est le cas notamment de l'empreinte carbone réalisée par Thiel et al. en 2015 sur l'hystérectomie par voie coelioscopique aux Etats-Unis, qui retrouvent une empreinte carbone à 560 kg eqCO₂ (44,45). Plusieurs facteurs peuvent expliquer cette différence.

Premièrement, la durée opératoire moyenne est plus longue lors de l'hystérectomie étudiée par Rizan, 170 minutes contre seulement 63 minutes pour l'appendicectomie.

Ensuite, le bloc opératoire des urgences de Salengro est déjà en partie optimisé sur le plan du développement durable. Le desflurane n'a été employé dans aucune des chirurgies étudiées, contrairement aux chirurgies étudiées par Thiel. Si toutes les anesthésies de notre étude avaient été réalisées au desflurane, la valeur du BEGES aurait été de 230,2 kg eqCO₂ supplémentaires par chirurgie. Cela correspond à une empreinte carbone pour l'opération comprise entre 275 et 323 kg eqCO₂, équivalent à un trajet en voiture Paris-Lisbonne (37). De même, le traitement des déchets est optimisé au CHU, avec très peu de DASRI produits. Si tous les déchets produits avaient été éliminés par la filière DASRI, cela aurait ajouté 3 kg

eqCO₂ supplémentaires au BEGES d'une appendicectomie.

Finalement, la part du bilan carbone liée à l'énergie ne représente qu'1 à 2% du total dans notre étude, contre près de 30% dans la littérature existante (11,45). Nous n'avions pas de compteur d'électricité pour permettre une mesure précise de la consommation du bloc opératoire, mais nous nous sommes appuyés sur les données fournies par les ingénieurs du CHU de Lille pour obtenir une estimation de cette consommation électrique, à 8,2 kWh. C'est une valeur très inférieure aux 45,5 kWh estimés par Thiel et al pour l'hôpital de Magee à Pittsburgh, Pennsylvanie, Etats Unis d'Amérique.

Nous avons estimé la consommation électrique du bloc opératoire en utilisant la consommation annuelle des centrales de traitement d'air du bloc, en prenant en considération uniquement la durée d'occupation de la salle pour l'appendicectomie. Cependant, les centrales de traitement d'air du bloc des urgences ne passent pas en mode veille, ou basse consommation, entre deux interventions. La consommation des CTA dans ces périodes n'est pas prise en compte dans notre étude, bien qu'elle soit nécessaire au fonctionnement du bloc. Un moyen d'intégrer ces périodes serait de diviser la consommation annuelle des CTA par le nombre de chirurgies réalisées par an pour obtenir une consommation moyenne par chirurgie, mais cette moyenne ne tiendrait alors pas compte de la durée de la chirurgie.

Par ailleurs, la France a un facteur d'émission carbone pour l'électricité très bas, à 0,06 kg eqCO₂/kWh, lié à la part prépondérante du nucléaire dans le mix énergétique français. Les Etats-Unis ou l'Angleterre utilisent une part importante d'électricité produite dans des centrales à charbon (46,47), avec un facteur d'émission pour l'électricité plus important, à 0,23 kg eqCO₂/kWh pour l'Angleterre et 0,42 kg eqCO₂/kWh pour les Etats-Unis (46,48). L'impact carbone de l'électricité utilisée pour la chirurgie est par conséquent plus important dans les études réalisées hors de France.

A la différence des autres études sur le sujet, nous avons choisi de prendre en compte les émissions liées au transport des différents membres du personnel, en y appliquant un correctif pour ne retenir que les émissions dues à la chirurgie. Selon la méthodologie de l'Association Bilan Carbone, le fait de ne pas prendre en compte le transport du personnel dans la réalisation d'un Bilan Carbone® est une erreur fréquente et importante (49). En effet, le transport représente 12% des émissions dans notre travail.

5. Perspectives et moyens d'action

Deux niveaux d'actions peuvent être retenus pour entrer dans une démarche d'écoconception au bloc opératoire : à l'échelle du soignant et à l'échelle de l'hôpital.

A l'échelle du soignant :

En accord avec les résultats de notre étude (entre 8 et 16% des émissions totales, selon la méthodologie d'analyse choisie) et d'autres études sur le sujet, l'utilisation de gaz halogénés est l'une des principales sources de pollution d'une chirurgie (11,45). Il est possible de diminuer cette empreinte carbone en préférant le sévoflurane au desflurane et en diminuant les débits de gaz frais pour diminuer la consommation de gaz (50). L'anesthésie intraveineuse au propofol émet 4 fois moins de gaz à effet de serre que l'anesthésie inhalatoire. Cependant, de nouvelles études sur les autres impacts environnementaux de l'anesthésie intraveineuse restent à réaliser (51).

Par ailleurs, le tri des déchets au bloc opératoire nécessite une attention particulière. L'élimination des déchets selon les filières DASRI ou DAOM possède un réel impact environnemental. De trop nombreux déchets sont éliminés selon la filière DASRI alors que la filière DAOM aurait été tout à fait adaptée (52,53). De la même façon, le recyclage au

bloc opératoire du plastique, du métal et du verre permettrait d'éviter une partie des émissions carbone en évitant les émissions liées à leur élimination. Cette démarche a déjà fait la preuve de son efficacité avec l'association « Les Petits Doudous » (54). Cependant, un certain nombre de déchets produits par le bloc opératoire ne sont actuellement pas recyclés, faute de filière de recyclage existante.

Les formations sur le tri des déchets et le recyclage recueillent habituellement une bonne adhésion des soignants et sont à proposer régulièrement afin de maintenir intacte leur motivation (55,56).

A l'échelle de l'hôpital

Les dispositifs médicaux représentent une grosse part des émissions carbone d'une chirurgie, entre 26 et 67%. Pourtant, à l'heure actuelle, l'hôpital ainsi que les centrales d'achat n'ont pas accès aux informations concernant l'empreinte carbone des DM et ne peuvent donc pas intégrer cette notion dans leurs choix de marché. Néanmoins, favoriser l'achat de produits fabriqués entièrement en France, ou en Europe, serait déjà un moyen de réduire les émissions de CO₂ du secteur de la santé et ainsi contribuer à l'atteinte des objectifs de réduction de ces émissions dans les hôpitaux.

L'empreinte carbone des DM est pour le moment approximative et des prochains travaux de recherche pourront s'atteler à affiner cette estimation, notamment en se penchant plus en détail sur les procédés de fabrication et de stérilisation de ces dispositifs médicaux ainsi que sur le circuit de distribution.

Outre l'achat éco-responsable de dispositifs médicaux, l'utilisation de matériel re-stérilisable au cours d'une intervention chirurgicale pourrait également être un levier de choix pour diminuer le BEGES d'une chirurgie. Il serait intéressant de comparer l'empreinte carbone

par analyse en cycle de vie bien conduite d'un instrument chirurgical à usage unique versus un instrument équivalent stérilisable. Il serait également pertinent de savoir quels dispositifs médicaux à usage unique pourraient être re-stérilisés ou remplacés par des dispositifs stérilisables, comme par exemple les trocars de coelioscopie ou les lames de laryngoscopie.

Par ailleurs, le transport du personnel s'est révélé être responsable d'une part importante des émissions carbone d'une appendicectomie, et pourrait être un axe d'amélioration. L'hôpital pourrait avoir un rôle important à jouer en favorisant les moyens de transports dits bas carbone : marche à pied, vélo, transports en commun par exemple.

Conclusion

L'étude d'un acte de soin sous l'angle du bilan d'émission de gaz à effet de serre nous donne une nouvelle approche de l'étude de l'impact du soin : celui de son impact environnemental. C'est une approche nouvelle, encore peu formalisée dans le monde de la santé.

Notre travail a permis de calculer le bilan de gaz à effet de serre d'une chirurgie d'appendicectomie. Il pourra servir de base pour de futures évaluations de BEGES en santé et d'efficacité de mesures de diminution de ces bilans. Les postes les plus émetteurs de CO₂ retrouvés dans notre étude sont l'emploi des dispositifs médicaux à usage unique et médicaments, l'utilisation de gaz halogénés, et le transport du personnel. Des moyens de réduction de ces émissions existent et peuvent déjà être mis en place, d'autres pistes de réflexion nécessiteront d'être étudiées afin d'évaluer leur efficacité.

Nos résultats sont rendus en équivalent carbone, le CO₂ étant le gaz à effet de serre le plus émis par les activités humaines. Cependant, le BEGES seul est insuffisant dans le cadre d'une démarche d'écoconception. D'autres facteurs sont à prendre en considération pour cela, c'est le cas notamment de la pollution des sols et des eaux, de l'utilisation de ressources naturelles ou de l'appauvrissement de la couche d'ozone par exemple.

Le père fondateur de la Médecine, Hippocrate, nous a transmis ce principe : primum non nocere, tout d'abord ne pas nuire. Le réchauffement climatique est un fléau qui menace la santé des populations, il est de notre devoir en tant que professionnels de santé de le limiter en maîtrisant les émissions carbone du système de santé.

Bibliographie

1. OMS. L'OMS appelle à des actions urgentes pour protéger la santé des populations face au changement climatique [Internet]. [cité 24 sept 2021]. Disponible sur: <https://www.who.int/news/item/06-10-2015-who-calls-for-urgent-action-to-protect-health-from-climate-change-sign-the-call>
2. Qu'est-ce que l'Accord de Paris ? [Internet]. [cité 12 sept 2021]. Disponible sur: <https://unfccc.int/fr/process-and-meetings/l-accord-de-paris/qu-est-ce-que-l-accord-de-paris>
3. OMS. Changement climatique et santé [Internet]. [cité 12 sept 2021]. Disponible sur: <https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/climate-change-and-health>
4. OMS. Communiqués de presse/Neuf personnes sur 10 respirent un air pollué dans le monde [Internet]. [cité 14 sept 2021]. Disponible sur: <https://www.who.int/fr/news/item/02-05-2018-9-out-of-10-people-worldwide-breathe-polluted-air-but-more-countries-are-taking-action>
5. Youmatter. Définition réchauffement climatique [Internet]. [cité 12 sept 2021]. Disponible sur: <https://youmatter.world/fr/definition/definition-rechauffement-climatique/>
6. IPCC. The Intergovernmental Panel on Climate Change [Internet]. [cité 12 sept 2021]. Disponible sur: <https://www.ipcc.ch/>
7. Le Quéré C, Jackson RB, Jones MW, Smith AJP, Abernethy S, Andrew RM, et al. Temporary reduction in daily global CO₂ emissions during the COVID-19 forced confinement. *Nat Clim Chang.* juill 2020;10(7):647-53.
8. UNEP. Rapport sur l'écart entre les besoins et les perspectives en matière de réduction des émissions 2019 [Internet]. [cité 12 sept 2021]. Disponible sur: <https://www.unep.org/fr/resources/rapport-sur-lecart-entre-les-besoins-et-les-perspectives-en-matiere-de-reduction-des>

9. Environnemental and Energy Study Institute. The Growth in Greenhouse Gas Emissions from Commercial Aviation [Internet]. [cité 26 sept 2021]. Disponible sur: <https://www.eesi.org/papers/view/fact-sheet-the-growth-in-greenhouse-gas-emissions-from-commercial-aviation>
10. Watts N, Amann M, Arnell N, Ayeb-Karlsson S, Belesova K, Boykoff M, et al. The 2019 report of The Lancet Countdown on health and climate change: ensuring that the health of a child born today is not defined by a changing climate. *The Lancet*. nov 2019;394(10211):1836-78.
11. Rizan C, Steinbach I, Nicholson R, Lillywhite R, Reed M, Bhutta MF. The Carbon Footprint of Surgical Operations: A Systematic Review. *Annals of Surgery* [Internet]. 9 juin 2020 [cité 18 juin 2020]; Publish Ahead of Print. Disponible sur: <https://journals.lww.com/10.1097/SLA.0000000000003951>
12. MacNeill AJ, Lillywhite R, Brown CJ. The impact of surgery on global climate: a carbon footprinting study of operating theatres in three health systems. *The Lancet Planetary Health*. déc 2017;1(9):e381-8.
13. Ministère de la transition écologique. Statistiques émissions carbone d'un français moyen [Internet]. [cité 16 sept 2021]. Disponible sur: <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/lempreinte-carbone-des-francais-reste-stable>
14. Wikipédia. Listes des communes de France les plus peuplées [Internet]. [cité 16 sept 2021]. Disponible sur: https://fr.wikipedia.org/wiki/Liste_des_communes_de_France_les_plus_peupl%C3%A9es
15. Article 75 de la loi n° 2010-788 du 12 juillet 2010 du code de l'environnement [Internet]. Disponible sur: <https://www.legifrance.gouv.fr/codes/id/LEGIARTI000022494481/2010-07-14>
16. BEGES du CHU de Lille [Internet]. 2017 [cité 24 sept 2021]. Disponible sur: <https://www.bilans-ges.ademe.fr/fr/bilandenligne/detail/index/idElement/2630/back/bilans>

17. Watts N, Amann M, Arnell N, Ayeb-Karlsson S, Belesova K, Berry H, et al. The 2018 report of the Lancet Countdown on health and climate change: shaping the health of nations for centuries to come. *The Lancet*. déc 2018;392(10163):2479-514.
18. Haut Conseil de la Santé Publique. Climat et santé. Actualité et dossier en santé publique [Internet]. [cité 26 sept 2021];(93). Disponible sur: <https://www.hcsp.fr/explore.cgi/adsp?clef=150>
19. Santé Publique France. Impacts sanitaires du changement climatique en France. Quels enjeux pour l'InVS ? [Internet]. [cité 26 sept 2021]. Disponible sur: <https://www.santepubliquefrance.fr/determinants-de-sante/climat/changement-climatique/documents/rapport-synthese/impacts-sanitaires-du-changement-climatique-en-france.-quels-enjeux-pour-l-invs>
20. Vicedo-Cabrera AM, Scovronick N, Sera F, Royé D, Schneider R, Tobias A, et al. The burden of heat-related mortality attributable to recent human-induced climate change. *Nat Clim Chang*. juin 2021;11(6):492-500.
21. ADEME. Définition écoconception [Internet]. Disponible sur: <https://www.ademe.fr/expertises/consommer-autrement/passer-a-laction/ameliorer-pratiques/lecoconception>
22. Département d'Information Médicale du CHU de Lille. Nombre d'appendicectomies par voie coelioscopiques pratiquées en 2019 en France et au CHU de Lille d'après les données du PMSI.
23. Association Bilan Carbone. Association Bilan Carbone [Internet]. [cité 12 sept 2021]. Disponible sur: <https://www.associationbilancarbone.fr/>
24. ADEME. Définition analyse en cycle de vie [Internet]. [cité 21 août 2021]. Disponible sur: <https://www.ademe.fr/expertises/consommer-autrement/passer-a-laction/dossier/lanalyse-cycle-vie/quest-lacv>

25. ADEME. Définition analyse ratio monétaire [Internet]. [cité 21 août 2021]. Disponible sur: https://www.bilans-ges.ademe.fr/documentation/UPLOAD_DOC_FR/index.htm?ratio-monetaires.htm
26. Chapuis C, Guerquin L, Albaladejo P. Les médicaments utilisés en anesthésie sont-ils vraiment des polluants majeurs? MAPAR 2016;
27. Wikipedia. Dioxyde de carbone [Internet]. [cité 21 août 2021]. Disponible sur: https://fr.wikipedia.org/wiki/Dioxyde_de_carbone
28. ADEME. Base Carbone [Internet]. [cité 12 sept 2021]. Disponible sur: <https://www.bilans-ges.ademe.fr/fr/basecarbone/donnees-consulter/choix-categorie>
29. Sea-distance. Calcul de la distance maritime entre deux ports [Internet]. [cité 22 août 2021]. Disponible sur: <https://sea-distances.org/>
30. Ahmed A. Surgical hand scrub: lots of water wasted. *Ann Afr Med.* mars 2007;6(1):31-3.
31. Lemonnier J, Talon D. 1ISG-027 Carbon footprint of a sterilisation unit. In: Section 1: Introductory statements and governance [Internet]. British Medical Journal Publishing Group; 2021 [cité 7 août 2021]. p. A4.1-A4. Disponible sur: <https://ejhp.bmj.com/lookup/doi/10.1136/ejhpharm-2021-eahpconf.8>
32. Société Française des sciences de la stérilisation. Indicateurs et coûts de production en stérilisation [Internet]. Disponible sur: <https://www.sf2s-sterilisation.fr/wp-content/uploads/2017/06/Indicateurs-et-cou%CC%82ts-mai-2017-version-3-.pdf>
33. Gas encyclopedia. Masse volumique de l'oxygène liquide [Internet]. [cité 24 sept 2021]. Disponible sur: <https://encyclopedia.airliquide.com/fr/oxygene>

34. Bonnet L, Carle A, Muret J. In the light of COVID-19 oxygen crisis, why should we optimise our oxygen use? *Anaesthesia Critical Care & Pain Medicine*. août 2021;40(4):100932.
35. ADEME. Facteurs d'émission des déchets dangereux [Internet]. [cité 23 sept 2021]. Disponible sur: https://www.bilans-ges.ademe.fr/documentation/UPLOAD_DOC_FR/index.htm?incineration-des-dechets-dange.htm
36. ADEME. Bilan carbone blanchisserie hospitalière [Internet]. [cité 22 août 2021]. Disponible sur: <https://www.bilans-ges.ademe.fr/fr/bilanenligne/detail/index/idElement/2128>
37. ADEME. Mon convertisseur carbone [Internet]. Disponible sur: <https://monconvertisseurco2.fr>
38. Collard MK, Christou N, Lakkis Z, Mege D, Bridoux V, Millet I, et al. Appendicite de l'adulte : recommandations pour la pratique clinique de la Société française de chirurgie digestive (SFCD) et de la Société d'imagerie abdominale et digestive (SIAD). *Journal de Chirurgie Viscérale*. déc 2020;S1878786X20304447.
39. OMS. Processus de stérilisation à l'oxyde d'éthylène [Internet]. [cité 24 sept 2021]. Disponible sur: https://www.who.int/medical_devices/innovation/hospt_equip_31.pdf
40. ADEME. Documentation Base Carbone [Internet]. [cité 24 sept 2021]. Disponible sur: https://www.bilans-ges.ademe.fr/fr/accueil/documentation-gene/index/page/Produits_en_caoutchouc_et_en_p
41. Institut Français des Relations Internationales. Commerce mondial: les nouvelles routes maritimes [Internet]. [cité 24 sept 2021]. Disponible sur: <https://storymaps.arcgis.com/stories/7d3a7a1492564cb2aabea79287566745>
42. Duane B, Borglin L, Pekarski S, Saget S, Duncan HF. Environmental sustainability in endodontics. A life cycle assessment (LCA) of a root canal treatment procedure. *BMC Oral Health*. 1 déc 2020;20(1):348.

43. van Straten B, Ligtelijn S, Droog L, Putman E, Dankelman J, Weiland NHS, et al. A life cycle assessment of reprocessing face masks during the Covid-19 pandemic. *Sci Rep.* 3 sept 2021;11(1):17680.
44. Thiel CL, Eckelman M, Guido R, Huddleston M, Landis AE, Sherman J, et al. Environmental impacts of surgical procedures: life cycle assessment of hysterectomy in the United States. *Environ Sci Technol.* 3 févr 2015;49(3):1779-86.
45. Thiel CL, Woods NC, Bilec MM. Strategies to Reduce Greenhouse Gas Emissions from Laparoscopic Surgery. *Am J Public Health.* avr 2018;108(S2):S158-64.
46. English department for business, energy and industrial strategy. UK energy mix [Internet]. [cité 12 sept 2021]. Disponible sur: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/904503/UK_Energy_in_Brief_2020.pdf
47. US Energy Information Administration. USA energy mix [Internet]. [cité 12 sept 2021]. Disponible sur: <https://www.eia.gov/energyexplained/us-energy-facts/>
48. US Energy Information Administration. How much carbon dioxide is produced per kilowatthour of U.S. electricity generation? [Internet]. [cité 12 sept 2021]. Disponible sur: <https://www.eia.gov/tools/faqs/faq.php?id=74&t=11>
49. Association Bilan Carbone. MOOC énergie et climat [Internet]. [cité 23 août 2021]. Disponible sur: <https://www.associationbilancarbonate.fr/mooc-energie-et-climat/>
50. SFAR Green. Fiche SFAR Green : réduction de la pollution par les anesthésiques inhalés [Internet]. [cité 24 sept 2021]. Disponible sur: <https://sfar.org/download/fiche-6-reduction-de-la-pollution-pas-les-anesthesiques-inhales/>
51. SFAR Green. Fiches SFAR green: impact environnemental du propofol [Internet]. [cité 24 sept 2021]. Disponible sur: <https://sfar.org/download/impact-environnemental-du-propofol/>

52. Chasseigne V, Leguelinel-Blache G, Nguyen TL, de Tayrac R, Prudhomme M, Kinowski JM, et al. Assessing the costs of disposable and reusable supplies wasted during surgeries. *Int J Surg.* mai 2018;53:18-23.
53. Rose ED, Modlin DM, Ciampa ML, Mangieri CW, Faler BJ, Bandera BC. Evaluation of Operative Waste in a Military Medical Center: Analysis of Operating Room Cost and Waste during Surgical Cases. *Am Surg.* 1 juill 2019;85(7):717-20.
54. Les petits doudous. Actions de recyclage au bloc opératoire [Internet]. [cité 12 sept 2021]. Disponible sur: <https://www.lesptitsdoudous.org/actions/le-recyclage/>
55. Khass Z, Paries M, Jacquens A, Kallel B, Rafat C, Degos V, et al. Enquête sur les changements de prescriptions des gaz anesthésiants après sensibilisation à leurs impacts climatiques. *Anesthésie & Réanimation.* mars 2021;7(2):110-8.
56. Delbove L. Impact d'une formation sur les conséquences environnementales du bloc opératoire.

ANNEXE

eCRF Goupile

</> Code 🔍 Liste 📝 Saisie Carbone Inclusion alexis.pennec Enregistrer

Bilan CO2

- Inclusion**
- Anesthésie
- Chirurgie
- Transport
- Autres

Introduction

Bonjour,

Dans le cadre de ma thèse, j'aimerais réaliser un bilan carbone d'une appendicectomie. Pour cela, j'ai besoin que plusieurs paramètres soient relevés durant la chirurgie:

- Le temps d'occupation de la salle
- Le temps de chirurgie
- La liste de tous les dispositifs médicaux employés durant le bloc
- La consommation de gaz anesthésiques et chirurgicaux
- Le moyen de transport employé pour venir au CHRU et le temps passé au CHRU
- Le poids des sacs DASRI et DAOM en fin d'occupation de salle.

Tous les MAR, IADEs ou internes peuvent réaliser ce recueil de données.

Les **critères d'inclusion** sont :

- > 15 ans et 3 mois
- Appendicectomie par voie coelioscopique
- Pas de conversion en laparotomie
- Pas de complication entraînant une modification de la prise en charge en per opératoire (choc hémorragique, septique, anaphylactique par exemple)
- Patient non Covid
- Non opposition du patient.

Caractéristiques du patient

Respect des critères d'inclusion? *

Oui Non

Quel est l'âge du (de la) patient(e) *

an

Quel est le sexe du patient ? *

Homme Femme

Bilan CO2

- Inclusion ✓
- Anesthésie
- Chirurgie
- Transport
- Autres

Matériel d'anesthésie

Enregistrer

Combien de dispositifs médicaux avez vous employés (= ouverts) parmi les suivants (si aucun, ne rien répondre) ?

Electrodes

Electrodes d'entropie

Cathéter orange 14 G

Cathéter gris 16 G

Cathéter vert 18 G

Cathéter rose 20 G

Cathéter bleu 22 G

Cathéter jaune 24 G

Paire de gants non stériles S

Paire de gants non stériles M

Paire de gants non stériles L

Valve anti-retour / valve d'injection

Bouchon

Pansement Tégaderm®

Hydrofilm 6x7 cm

Hydrofilm 10x12,5 cm

Paquet de 5 compresses carrées petites

Paquet de 5 compresses carrées grandes

Compresses non stériles

Perfuseur

Perfuseur avec régulateur de débit

Prolongateur

Robinet 3 voies

Masque de ventilation S

Masque de ventilation M

Masque de ventilation L

Filtre vert + raccord annelé

Lame de laryngoscopie taille 3

Lame de laryngoscopie taille 4

Mandrin long béquillé

Airtraq®

Sonde intubation taille 6,5

Sonde intubation taille 7

Sonde intubation taille 7,5

Sonde intubation taille 8

Canule de Guédel blanche

Canule de Guédel verte

Canule de Guédel orange

Canule de Guédel rouge

Sonde aspiration verte

Sonde aspiration rouge

Sonde aspiration orange

Sonde aspiration noire

Seringue de 2 ml

Seringue de 5 ml

Seringue de 10 ml

Seringue de 20 ml

Seringue de 50 ml

Trocart de prélèvement

Prise d'air pour prélèvement

Tubulure pour SAP

Couverture chauffante

Sonde gastrique taille 14

Sonde gastrique taille 16

Sonde gastrique taille 18

Sonde gastrique taille 20

Sonde gastrique taille 21

Seringue à gavage 50 ml

Sachet de recueil du contenu gastrique

Autre ? (Dispositifs médicaux non mentionnés)

Bilan CO2

- Inclusion ✓
- **Anesthésie**
- Chirurgie
- Transport
- Autres

Médicaments

Enregistrer

Lidocaïne plastique 20 ml Lidocaïne verre 20 ml

Propofol 20 ml

Rocuronium 5 ml (50 mg)

Atracurium 5 ml (50 mg)

Cisatracurium 5 ml (10 mg)

Suxaméthonium 2 ml (100 mg)

Sugammadex 2 ml (200 mg)

Dexaméthasone 1 ml (4mg)

Atropine 1 ml (0,25 mg)

Prostigmine 1 ml (0,5 mg)

Augmentin 1g

Augmentin 2g

Gentamicine 2 ml (80 mg)

Gentamicine 2 ml (160 mg)

Métronidazole 100 ml (500 mg)

Cefoxitine 2g

NaCl 0,9% 20 ml

NaCl 0,9% 50 ml

NaCl 0,9% 250 ml

NaCl 0,9% 500 ml

Paracétamol 100 ml (1000 mg)

Nefopam 2 ml (20 mg)

Tramadol 2 ml (100 mg)

Ephedrine 10 ml (30 mg)

Ropivacaïne 20 ml (2 mg /ml)

Ringer lactate 500 ml

Serum glucosé 5% 500 ml

Plasmalyte 500 ml

Gelofusine 500 ml

Autre ? (Médicaments non mentionnés)

Bilan CO2

- Inclusion ✓
- Anesthésie
- **Chirurgie**
- Transport
- Autres

Matériel chirurgical

Enregistrer

Combien de dispositifs médicaux avez vous employés (= ouverts) parmi les suivants ?

Blouses chirurgicales

0

**Paires de gants
stériles latex**

0

**Paires de gants
stériles sans latex**

0

Paquet de 10 compresses marquées

0

Set de badigeon

0

Bétadine alcoolique

0

Boîtes à instruments chirurgicaux

0

Ciseaux coelio

0

Petit champ opératoire

0

Grand champ opératoire

0

Housse de camera

0

Sac adhésif pour recueil des instruments

0

Tuyau d'insufflation

0

**Trocart d'open
à usage unique**

0

**Trocart coelio
à usage unique**

0

Canule d'aspiration

0

Canule d'aspiration en métal

0

Poche de lavage

0

Strycker

0

Endoloop

0

Endobag

0

Lame de Bistouri

0

Fil de coelio

0

Fil de fermeture monocryl

0

Bobine Vicryl

0

Baxter 1.5L

0

Blake

0

Colle

0

Cosmopor

0

**Pot plastique de recueil
de pièce opératoire**

0

**Sac plastique de transport
de recueil de pièce opératoire**

0

Pansement américain

0

Bande collante

0

Autre dispositif chirurgical non mentionné

0

Bilan CO2

- Inclusion ✓
- Anesthésie
- Chirurgie
- **Transport**
- Autres

Informations sur le remplissage

Cette section vise à estimer l'empreinte carbone du transport du personnel en demandant, pour chaque membre du personnel ayant participé à l'intervention (IBODE, IADE, interne, anesthésiste, chirurgien) la longueur du trajet pour venir au travail en km, le type de transport utilisé (préciser le type de moteur si voiture, préciser si plusieurs moyens de transport) ainsi que le temps total passé à l'hôpital.

Attention, ne prendre en compte **que le trajet aller** !

En cas de covoiturage, diviser le kilométrage parcouru par le nombre de covoitureurs.

Enregistrer

(1) anesth Supprimer

Fonction	Transport 1	Transport 2
Anesthésiste	Voiture (essence)	-- Valeur non renseignée --
	(distance en km)	(distance en km)

Temps total passé à l'hôpital
 heure

[Ajouter un intervenant](#)

Bilan CO2

- Inclusion ✓
- Anesthésie
- Chirurgie
- Transport ✓
- **Autres**

Données générales en fin d'intervention

Quel a été le temps d'occupation de la salle (de l'entrée du patient sur Diane à sa sortie de salle d'intervention) ?

minute

Quelle a été la durée de l'intervention chirurgicale (incision - fin d'acte chirurgical) ?

minute

Combien de lavages chirurgicaux des mains ont été réalisés ?

Quel agent halogéné avez vous utilisé ?

Quelle est la quantité de dioxyde de carbone utilisée pour réaliser la coelioscopie ?

L

* Cette information se trouve sur la colonne de coelioscopie, à récupérer après exsufflation et avant l'extinction de la colonne par les IBODEs

Enregistrer

Écran respirateur

Pour toute cette partie, les informations se trouvent sur l'écran du respirateur : menu principal -> consommation de gaz -> sélectionner cas. Vérifier bien que le cas sélectionné est le bon..

Enregistrer

Quelle est la quantité d'agent halogéné consommée pour cette appendicectomie ?

mL

Quelle est la valeur du N2O consommé durant cette intervention ?

L

Quelle est la valeur d'oxygène consommé durant cette intervention ?

L

Quelle est la valeur d'air consommé durant cette intervention ?

L

Poubelles

Quel est le poids total des sacs DASRI (sacs jaunes) en sortie de salle ?

kg

Quel est le poids total des sacs DAOM (sacs noirs) en sortie de salle ?

kg

Combien d'ampoules ou de flacons de médicaments ont été ouverts et jetés sans les avoir utilisés ?

Combien de dispositifs médicaux (en anesthésie et en chirurgie) ont été ouverts et jetés sans les avoir utilisés ?

Quels sont les autres dispositifs jetés sans avoir été utilisés ?

AUTEUR : Nom : Pennec

Prénom : Alexis

Date de soutenance : 14/10/2021

Titre de la thèse : Démarche d'écoconception au bloc opératoire au travers de la réalisation d'un bilan d'émission de gaz à effet de serre d'une appendicectomie

Thèse - Médecine - Lille « 2021 »

Cadre de classement : Anesthésie

DES + spécialité : Anesthésie-réanimation

Mots-clés : Ecologie, écoconception, réchauffement climatique, changement climatique, bilan d'émissions de gaz à effet de serre, empreinte carbone, appendicectomie

Résumé :

Contexte. Selon l'OMS, le changement climatique représente la plus grande menace pour la santé dans le monde au XXI^e siècle. Le secteur de la santé contribue au réchauffement climatique en étant responsable de 4,4% des émissions de gaz à effet de serre au niveau mondial, et les hôpitaux sont désormais engagés dans une démarche de réduction des émissions carbone. Dans le cadre de l'écoconception de la santé, ces émissions doivent être étudiées afin de pouvoir être maîtrisées sans altérer la qualité des soins prodigués. L'objectif principal de ce travail était d'évaluer le bilan de gaz à effet de serre d'une appendicectomie. Les objectifs secondaires étaient d'étudier la répartition des postes d'émissions afin de pouvoir proposer des pistes de réflexion pour la réduction de ces émissions.

Méthodes. Nous avons utilisé la méthodologie de l'ADEME pour la réalisation d'un Bilan d'Emission de Gaz à Effet de Serre (BEGES) et calculé les différents facteurs d'émission carbone à utiliser. Nous avons ensuite réalisé une étude prospective observationnelle au bloc opératoire des urgences du CHU de Lille afin de calculer le BEGES d'une appendicectomie.

Résultats. 31 appendicectomies ont été incluses. L'empreinte carbone médiane d'une appendicectomie au CHU de Lille était de 44,9 kg eqCO₂. 76 DM à usage unique et 134 médicaments étaient utilisés par intervention, respectivement responsables de l'émission de 8,8 et 11,9 kg eqCO₂. 3 kg eqCO₂ étaient dus à la stérilisation hospitalière. Le seul gaz halogéné employé était le sévoflurane, responsable de l'émission de 7,4 kg eqCO₂. Le transport du personnel émettait 5,4 kg eqCO₂ avec une médiane de trajet à 7 km, et les déchets produisaient 1,9 kg eqCO₂. Les déchets de type DASRI étaient présents dans seulement 5 interventions sur 31 (16%). Un kg eqCO₂ était dû à la production de l'électricité consommée, 2,7 kg eqCO₂ à la production des équipements médicaux et 1,1 kg eqCO₂ à la blanchisserie.

Conclusion. Dans une démarche de réduction des émissions, il existe une marge de progression pour l'amélioration de nos pratiques (diminution des débits de gaz frais, achat de matériel éco-responsable, tri des déchets et recyclage, préférence des transports en commun), sans altération de la qualité des soins fournis.

Composition du Jury :

Président : Professeur Benoît TAVERNIER

Asseseurs : Professeur Daniel MATHIEU

Docteur Camille MARCINIAK

Directeur de thèse : Docteur Florence LALLEMANT