



ELSEVIER

Disponible en ligne sur

ScienceDirect
www.sciencedirect.com

Elsevier Masson France

EM|consulte
www.em-consulte.com

MINI-REVUE

Revue systématique du bilan carbone des interventions chirurgicales[☆]

Systematic review of carbon footprint of surgical procedures

Nicola de'Angelis^a, Christel Conso^b, Giorgio Bianchi^a,
Ana Gabriela Barría Rodríguez^a,
Francesco Marchegiani^a, Maria Clotilde Carra^c,
Charlotte Lafont^{d,e}, Florence Canouï-Poitrine^{d,e},
Karem Slim^f, Patrick Pessaux^{g,*}, on behalf of CERES
(Collectif éco-responsabilité en santé)

^a Unit of Colorectal and Digestive Surgery, DIGEST Department, Faculty of Medicine, University of Paris Cité, Beaujon University Hospital, AP–HP, Paris, France

^b Service de chirurgie orthopedique, institut mutualiste Montsouris, 42, boulevard Jourdan, 75014 Paris, France

^c Service of Odontology, Department of Periodontology, Université de Paris, U.F.R. of Odontology-Garanciere, Rothschild Hospital, AP–HP, 75006 Paris, France

^d Service de santé publique, hôpital Henri-Mondor, 94010 Créteil cedex, France

^e Inserm U955, équipe Clinical Epidemiology And Ageing (CEpiA), IMRB, Université Paris Est Créteil (UPEC), Créteil cedex, France

^f Francophone Group for Enhanced Recovery After Surgery (GRACE), Department of Digestive Surgery, CHU of Clermont-Ferrand, University Hospital, place Lucie-Aubrac, 63003 Clermont-Ferrand, France

^g HPB Unit, Digestive Surgery Department, University of Strasbourg, Nouvel Hôpital Civil, 1, place de l'Hôpital, 67091 Strasbourg, France

DOI de l'article original : <https://doi.org/10.1016/j.jviscsurg.2023.03.002>.

[☆] Ne pas utiliser, pour citation, la référence française de cet article, mais celle de l'article original paru dans *Journal of Visceral Surgery*, en utilisant le DOI ci-dessus.

* Auteur correspondant.

Adresse e-mail : patrick.pessaux@chru-strasbourg.fr (P. Pessaux).

<https://doi.org/10.1016/j.jchirv.2023.02.002>

1878-786X/© 2023 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

MOTS CLÉS

Empreinte carbone ;
Équivalent CO₂ ;
Gaz effet de serre ;
Déchets ;
Evaluation du cycle de vie

KEYWORDS

Carbon footprint;
CO₂ equivalent;
Greenhouse emission;
Waste;
Life cycle assessment

Introduction

Au cours de la dernière décennie, les publications concernant l'impact environnemental du bloc opératoire ont augmenté de manière exponentielle, avec une moyenne de 2 articles/an publiés entre 2012 et 2016, et près de 60 articles publiés uniquement au cours des deux dernières années (<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov>) [1]. Ce constat témoigne de l'intérêt des acteurs du système de soins à réduire leurs émissions de gaz à effet de serre (GES) et à promouvoir une pratique chirurgicale durable [2,3].

La chirurgie est l'une des activités cliniques contribuant le plus à l'empreinte carbone dans un établissement de soins. Sa contribution concerne la consommation d'énergie au bloc opératoire, les consommables, les équipements et instruments (à usage unique ou non) utilisés en période pré-opératoire et postopératoire, les dispositifs d'anesthésie, les gaz anesthésiques, l'électricité, le carburant et l'eau utilisés dans les services techniques partagés, les déplacements du personnel et la production de déchets [4]. En excluant l'impact direct des gaz anesthésiques, l'empreinte carbone d'une intervention chirurgicale a été estimée à 24kg d'équivalent CO₂ (CO₂e) par heure de chirurgie au Royaume-Uni [4], mais elle varie considérablement en fonction des besoins du patient, de la situation clinique, du type de chirurgie et de la zone géographique [5–7]. En général, le secteur de la santé des pays développés est responsable d'une plus grande part des émissions de GES, et il contribue à une quantité considérable de déchets médicaux générés par jour (650 à 1200 kilogrammes), ce qui se traduit également par des émissions de GES.

Une appréciation critique de la spécificité et des différences d'empreinte carbone et de déchets générés selon le type de chirurgie a été rarement évaluée dans la littérature. Dans cette perspective, et afin d'évaluer la durabilité écologique de la chirurgie, cette revue systématique visait à répondre à la question centrale suivante : quelle est l'empreinte carbone des interventions chirurgicales au bloc opératoire ?

Méthodes

Le protocole de cette revue systématique a été développé en suivant la méthodologie PRISMA [8].

Critère d'éligibilité

La question de recherche a été construite en utilisant le format PECOS [9], comme suit :

- (P), population : patients adultes ou pédiatriques ayant des interventions chirurgicales dans n'importe quel domaine chirurgical et pour n'importe quelle indication ;
- (E), exposition : intervention chirurgicale à visée diagnostique ou thérapeutique réalisée dans les domaines chirurgicaux suivants : chirurgie générale, digestive, orthopédique, urologique, gynécologique, ORL, ophtalmologique, cardiaque, dermatologique, plastique. Tous les types d'approche chirurgicale (par exemple, ouverte, laparoscopie, robotique) ou techniques ont été pris en compte ;
- (C), comparaison : procédures/protocoles chirurgicaux alternatifs ou pas de comparaison ;
- (O), *outcomes* : empreinte carbone (*outcome* principal) et/ou toute autre mesure de l'impact environnemental de l'intervention chirurgicale, y compris la dépense énergétique, la production de déchets, les coûts ;
- (S), conception de l'étude : études observationnelles ou expérimentales publiées en anglais, français ou italien.

Aucune restriction de temps dans les dates de publication n'a été appliquée.

Trois principaux types d'études étaient attendus :

- des études observationnelles évaluant l'empreinte carbone du bloc opératoire sur une période de temps donnée, sur un nombre représentatif d'actes ou en modélisant des données sur une estimation approximative ;
- des études observationnelles comparant l'empreinte carbone entre deux procédures, techniques ou protocoles pour évaluer si l'un était plus « durable » que l'autre ;
- des études interventionnelles évaluant la mise en place de protocoles spécifiques appliqués pour réduire l'impact écologique du bloc opératoire (études avant-après).

Aucune restriction n'a été appliquée au type de lignes directrices, de protocole et de méthode utilisé pour estimer l'empreinte carbone de l'intervention chirurgicale. Les données par cas et les émissions cumulées (sur une période donnée) étaient éligibles. L'empreinte carbone devait être exprimée en kg CO₂e, en équivalent dioxyde de carbone ou en kilomètres équivalents en voiture (KmDE). Le *Greenhouse Gas (GHG) Protocol* (ou Protocole de gaz à effet de serre) [10] a été utilisé comme référence pour identifier les périmètres d'inventaire utilisés pour estimer l'impact environnemental des interventions chirurgicales dans les études sélectionnées (scopes 1, 2 et 3 ; Fig. 1).

Sources bibliographiques et recherche

La recherche bibliographique et la sélection ont été effectuées par trois examinateurs indépendants (NdeA, CC, CL). Les bases de données électroniques suivantes ont été consultées en février 2022 : MEDLINE (via PubMed), EMBASE, *Cochrane Central Library*.

Une équation de recherche spécifique a été formulée pour chaque base de données, en utilisant des mots clés et des termes MeSH, présentés dans le [Supplément en ligne Tableau S1](#). De plus, les listes de références des études éli-

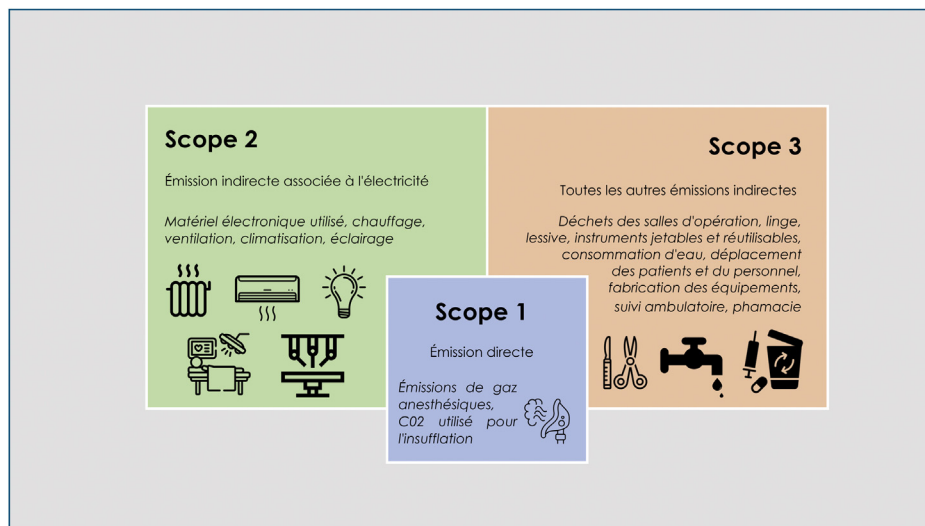


Figure 1. Schéma des scopes 1, 2 et 3 des périmètres recueillis par *Greenhouse Gas Protocol* (ou Protocole de gaz à effet de serre) utilisés pour évaluer l'impact environnemental d'une intervention chirurgicale (conseil mondial des entreprises pour le développement durable, institut des ressources mondiales. Le protocole sur les gaz à effet de serre : une norme de comptabilité et de reporting d'entreprise. Rév. éd. Genève, Suisse, Washington, DC : 2004).

gibles et des articles de synthèse publiés précédemment ont été recoupées afin d'identifier d'autres études pertinentes. Une mise à jour de cette recherche a été effectuée en juillet 2022 pour vérifier qu'aucune autre étude pertinente n'avait été publiée depuis.

Sélection des études et extraction des données

Les recueils des recherches bibliographiques ont été fusionnés en une seule liste importée dans Covidence (<https://www.covidence.org>). Après suppression des doublons, les recueils ont été filtrés par titre et résumé. Chaque recueil devait être évalué et noté (pour être inclus ou exclu) par deux examinateurs (NdeA, CC), à l'aveugle. Tout désaccord a été résolu par la discussion pour parvenir à un consensus ou avec l'aide d'un troisième auteur (CL ou MCC), agissant pour l'arbitrage. Par la suite, les examinateurs ont effectué une évaluation du texte intégral. En utilisant une feuille de calcul Microsoft Excel dédiée, une extraction de données a été réalisée pour collecter les principales caractéristiques et résultats des études et pour évaluer la qualité des études en utilisant le score MINORS [11]. Le système MINORS attribue une note de 0 si l'item n'est pas renseigné, de 1 si l'item est renseigné, mais insuffisant ou de 2 si l'item est renseigné et adéquat. Le score le plus élevé est de 16 pour les études non comparatives et de 24 pour les études comparatives.

Résultats

La recherche documentaire a identifié 878 références. Comme le montre la Fig. 2, le processus de sélection a conduit à l'inclusion de 36 études originales. Lors du processus de sélection des études sur le titre et le résumé, le kappa de Cohen entre les examinateurs (NdeA et CC) était modéré (0,55), mais avec un accord proportionnel de 75,6 %. Pour l'évaluation du texte intégral, le kappa de Cohen entre les examinateurs était de 0,46 avec un accord proportionnel de 68,3 %.

Caractéristiques de l'étude

Les 36 études sélectionnées portent sur différentes spécialités chirurgicales. Précisément, 11 (30,5 %) ont envisagé des actes chirurgicaux ophtalmologiques [6,12–21], 7 (19,4 %) des actes de chirurgie générale/digestive [22–28], 5 (13,9 %) des actes gynécologiques [29–33], 3 (8,3 %) interventions orthopédiques [34–36], 2 (5,5 %) neurochirurgie [37,38], 2 (5,5 %) ORL/chirurgie cervico-faciale [39,40], 2 (5,5 %) chirurgie plastique/dermatologique [41,42] et 1 (2,8 %) chirurgie cardiaque [43]. Seules 3 études ont considéré différentes interventions chirurgicales dans différents domaines chirurgicaux réalisées en salle opératoire sur une période d'étude donnée [7,44,45]. Les études incluses ont été menées dans plusieurs pays différents et différents systèmes de santé avec des environnements hospitaliers différents (Supplément en ligne Tableau S2). Dans l'ensemble, les études sélectionnées se sont avérées de qualité modérée, avec un score MINORS allant de 6 à 20.

Synthèse des résultats

Une grande hétérogénéité a été notée parmi les études incluses concernant les méthodes, les consignes et les limites d'inventaire appliquées pour évaluer l'empreinte carbone des interventions chirurgicales. Sur la base du *Greenhouse Gas* (GHG) *Protocol* (ou Protocole de gaz à effet de serre) [10] comme référence, nous avons analysé les éléments utilisés pour estimer l'impact environnemental des opérations chirurgicales dans les études sélectionnées (Supplément en ligne Tableau S3). Seules 8 études (22,2 %) ont évalué le scope 1 du GHG *protocol* consistant en l'estimation des émissions directes de GES. Treize études ont évalué le scope 2, impliquant les émissions indirectes de GES résultant de la production d'électricité, de chauffage et de refroidissement, et la grande majorité a évalué les émissions indirectes de GES provenant de sources non détenues ou directement contrôlées par l'entité mais liées aux activités de l'entité (limites du scope 3 ; ex., déchets, voyage) [10]. Les kg CO₂e moyens et les kg de déchets générés sont mentionnés sur les Fig. 3 et 4.

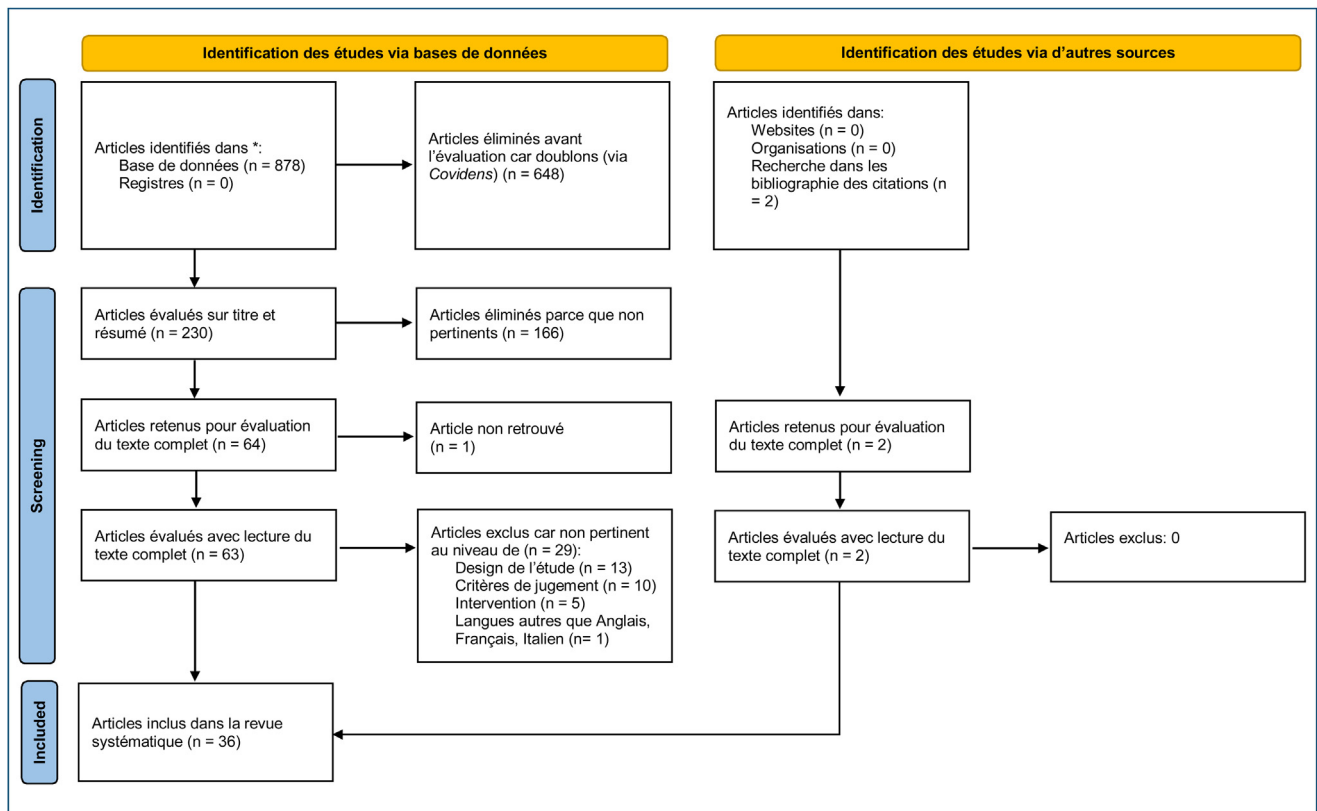


Figure 2. Organigramme PRISMA du processus de sélection des études.

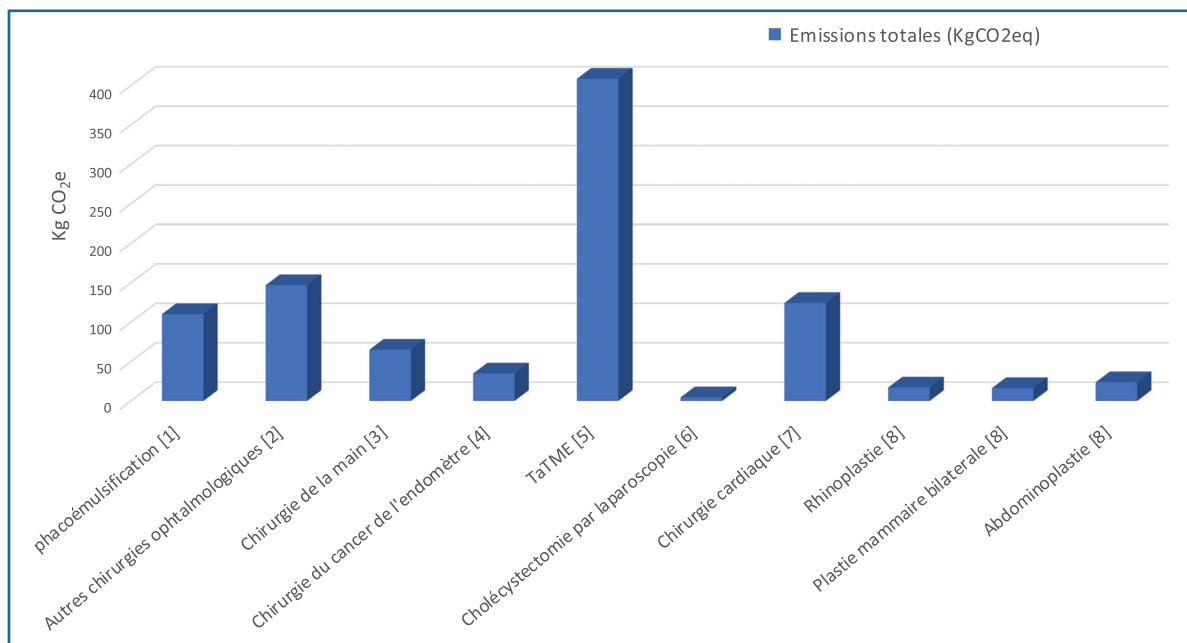


Figure 3. Empreinte carbone des différentes interventions chirurgicales (moyenne estimée Kg CO₂e par intervention) : [1] basé sur : Ferrero 2022 ; Goël 2021 ; Latte 2021 ; Morris 2013 ; Thiel 2017 ; [2] basé sur Moussa 2022 ; Goël 2021 ; Bhattar 2021 ; [3] basé sur Baxster 2021 ; Zhang 2022 ; [4] basé sur Woods 2015 ; [5] basé sur Caycedo-Marulanda 2019 ; [6] basé sur Rizan 2021 ; [7] basé sur Grindberg 2021 ; [8] basé sur Berner 2017.

Chirurgie ophtalmologique

La chirurgie de la cataracte, en particulier la phacoémulsification, est l'une des procédures les plus étudiées. L'empreinte carbone d'une seule intervention chirurgicale variait de 6 à 41 kgCO₂e en Inde [6,21], 67 à 181,8 kgCO₂e au Royaume-Uni [6,16], 81,1 kgCO₂e en France [13],

114 à 121 au Mexique [6], 130 kgCO₂e en Hongrie [6] et 123–151,9 kgCO₂e en Nouvelle-Zélande [6,15]. Dans les différentes études, une part importante des émissions de GES était attribuable au matériel chirurgical jetable non utilisé ou aux produits pharmaceutiques non utilisés [12,20], aux déplacements des patients/du personnel [6], à l'achat de fournitures à usage unique ou jetables [6,21], alors que

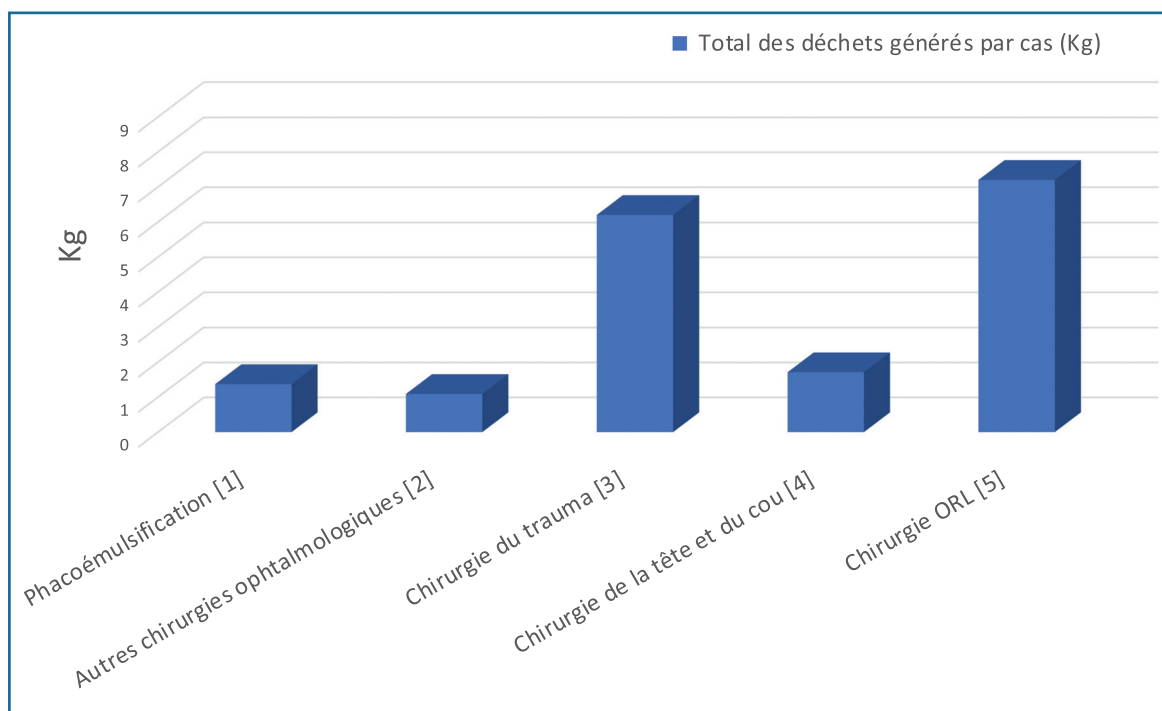


Figure 4. Production de déchets des différentes interventions chirurgicales (moyenne estimée Kg par intervention) : [1] basé sur Goel 2021 Khor 2020 ; Latte 2021 ; Thiel 2017 ; [2] basé sur Goel 2021 ; Namurar 2018 ; [3] basé sur Kooner 2020 ; [4] basé sur Lui 2014 ; [5] basé sur Ryan 2021.

la valeur générée par les déchets recyclables était moins impactante [14].

Chirurgie générale et digestive

Bien que des comparaisons directes ne soient pas possibles, l’excision mésorectale totale transanale (TaTME) semble être associée à une production élevée d’équivalent de dioxyde de carbone (408,6 kg CO2e), avec des différences substantielles selon le type de gaz anesthésique utilisé, par exemple le sévoflurane ou le desflurane [22]. Les gaz anesthésiques et la consommation d’énergie représentaient la plus grande source d’émission de GES [7]. Concernant la chirurgie mini-invasive (MIS), les émissions directes de CO2 (scope 1) peuvent ne représenter qu’une faible contribution [24], mais elles sont contrebalancées par les émissions indirectes liées à la chirurgie, dont la contribution importante est estimée à 355 924 tonnes de CO2/an aux USA [25].

Chirurgie gynécologique

Concernant les procédures gynécologiques, l’accouchement par césarienne a été estimé avoir une empreinte carbone plus importante qu’un accouchement par voie basse dans un centre de référence aux USA [32]. Les principales sources d’émissions environnementales comprennent la production de matériaux jetables et de dispositifs chirurgicaux à usage unique, l’énergie utilisée pour le chauffage, la ventilation et la climatisation, et les gaz anesthésiques [29,30,33]. Quelques différences ont été relevées selon l’abord chirurgical. Par exemple, la consommation d’énergie contribue à environ 28 % de la demande énergétique cumulée dans les hystérectomies abdominales et vaginales, 9 % pour la laparoscopie et 6 % pour la robotique [29], alors que l’empreinte carbone totale d’une procédure de stadification robotisée pour le cancer de l’endomètre a été jugée être supérieure

(40,3 kg CO2e) à la laparoscopie conventionnelle (29,2 kg CO2e) et à la laparotomie (22,7 kg CO2e) [33].

Chirurgie orthopédique

La libération du canal carpien, l’ostéosynthèse du radius distal ou la réparation du tendon fléchisseur ont été étudiées et ont révélé de fortes variations parmi les chirurgiens de la main dans l’utilisation de fournitures jetables [34]. Ces procédures ont généré de 7,8 kg CO2 à 28,8 kg CO2. La sobriété dans l’utilisation des fournitures diminue l’empreinte carbone de 3 chirurgies de la main différentes [36].

Une fusion vertébrale à deux niveaux peut être réalisée avec des instruments réutilisables ou jetables [38]. L’impact environnemental des matériaux jetables est nettement inférieur à celui des instruments réutilisables, principalement en raison de la stérilisation à la vapeur, mais cela dépend fortement de la source d’énergie.

Autres interventions chirurgicales

Une quantité similaire de kg CO2e a été signalée pour des interventions telles que la rhinoplastie ou l’augmentation mammaire bilatérale (environ 16 kg CO2e) [41]. Une plastie abdominale était associée à 23,7 kg CO2e [41], tandis qu’une chirurgie cardiaque (par exemple, réparation ou remplacement d’une valve unique) à 124 kg CO2e [43]. L’impact des matériaux non recyclables était supérieur à celui des matériaux recyclables [40] et un impact non négligeable de la stérilisation des instruments réutilisables a également été rapporté [38,39].

Discussion

Cette revue systématique propose une synthèse qualitative de la littérature disponible concernant l’impact environnemental d’une intervention chirurgicale au bloc opératoire.

En décrivant 36 articles traitant de différents domaines chirurgicaux, elle donne un large panorama de la problématique, indispensable pour identifier les axes d'amélioration et proposer des actions et des recherches complémentaires.

L'impact climatique au bloc opératoire est important. Sur une période d'un an et en considérant différentes spécialités chirurgicales dans 3 hôpitaux universitaires quaternaires différents au Canada, aux États-Unis et au Royaume-Uni, McNeil et al. [7] ont estimé une production de 3 200 000 à 5 200 000 kg CO₂e par an, ce qui correspond approximativement à la consommation énergétique de 403 foyers pendant un an. Par acte chirurgical, des écarts considérables ont été notés, avec la valeur la plus faible rapportée en Inde (6 kg CO₂e) [21] et une moyenne de 146 à 232 kg CO₂e par opération [7]. Les gaz anesthésiques et la consommation d'énergie représentaient les principales sources d'émission de GES. Une seule phacoémulsification émet environ 130 kg de CO₂e, soit la même émission qu'environ une semaine de « vie » pour le citoyen britannique moyen [6,13,14,20,21]. Plus de 50 % de ces émissions de GES proviennent de l'achat de fournitures, qui sont en grande partie des produits jetables à usage unique. La chirurgie mini-invasive, qui comprend des technologies médicales avancées associées à de meilleurs résultats cliniques, peut nécessiter plus de ressources que la chirurgie ouverte conventionnelle, en particulier pour les emballages et les plastiques, la consommation d'énergie et la production de déchets [25,29,33]. Cependant, cela doit être évalué en tenant compte du type d'intervention spécifique et de la source d'énergie, car de grandes différences ont été rapportées dans les études disponibles, en particulier pour les interventions gynécologiques [29]. Néanmoins, une seule hystérectomie robotique aux États-Unis s'est avérée émettre 814 kg de CO₂e, soit l'équivalent de 3253 km parcourus par un véhicule de tourisme à essence moyen ou 99 017 smartphones chargés (<https://www.epa.gov/energy/greenhouse-gas-equivalencies-calculator#results>), ce qui n'est pas négligeable. De même, un TaTME peut produire jusqu'à 408 kg CO₂e, surtout si le desflurane est utilisé comme anesthésique [22].

Concernant la production de déchets, chaque bloc opératoire a le potentiel de produire jusqu'à 2300 kg de déchets par an, avec une production de déchets par acte allant de 0,2 à 4 kg selon le type d'intervention, le milieu hospitalier et la zone géographique [6,14,19,21,35,39,40]. La production totale de déchets est composée de différents types de déchets, y compris les déchets provenant des fournitures chirurgicales jetables et des objets tranchants, des équipements de protection individuelle, des draps et des emballages en plastique. La plupart des études incluses ne précisent pas le type de déchets mais y font référence dans leur ensemble. Cependant, il est apparu que la grande majorité des déchets du bloc opératoire sont générés dans la période préopératoire, lors de la mise en place du bloc opératoire et de la préparation du patient [35,39]. Les gants représentaient environ 5 % en poids du flux de déchets de chaque chirurgie dans les hystérectomies abdominales, vaginales, laparoscopiques et robotiques [29]. Les matériaux recyclables représentent environ 20 % du total des déchets de salle d'opération dans les cabinets ORL [39,40]. Les établissements de soins où aucune politique de recyclage n'a été adoptée produisaient beaucoup plus de déchets par cabinet ophtalmologique [19]. Dans l'ensemble, la littérature indique que des programmes efficaces de recyclage au niveau du bloc opératoire peuvent réduire considérablement l'empreinte écologique en détournant les déchets

des décharges [35], mais cela doit être évalué en tenant compte de la disponibilité, des installations et de la législation spécifiques de chaque pays. Il s'agit maintenant de faire des recommandations de bonnes pratiques afin d'établir un cadre facilitant la prise de décision, par exemple sur l'habillement de bloc opératoire : tenue et casaque chirurgicales, couvre-chef, masque chirurgical et chaussures. Le public visé est important dans la mesure où il correspond à l'ensemble des professionnels médicaux et paramédicaux travaillant au bloc opératoire [46].

Les chirurgiens, les cliniciens et les infirmières sont de plus en plus conscients que le secteur de la santé et, en particulier, la salle d'opération sont responsables d'environ 5 % des émissions de GES responsables du réchauffement climatique au Royaume-Uni, 7 % en Australie et 10 % aux États-Unis [5,47]. En France, le système de santé est responsable de 5 % à 8 % des émissions de GES [48], avec 46 millions de tonnes de CO₂e par an (<https://theshiftproject.org/wp-content/uploads/2021/11/211125-TSP-PTEF-Rapport-final-Sante.pdf>), provenant essentiellement des médicaments (fabrication et consommation), des dispositifs médicaux (fabrication), et de l'énergie (chauffage, électricité). Ces données prétendent définir des stratégies pour réduire l'empreinte carbone et la génération de déchets, telles que la mise en œuvre de produits pharmaceutiques à usages multiples, de fournitures réutilisables ou retraitées et le recyclage de produits à usage unique fabriqués à partir de matériaux réutilisables.

Des études d'enquête indiquent que le personnel de santé est préoccupé par le réchauffement climatique et est disposé à mettre en œuvre de nouveaux protocoles afin d'améliorer la durabilité écologique de la salle d'opération [3,49,50]. Chang et al. [49] ont mené une enquête en ligne auprès de plus de 1300 chirurgiens et infirmières de la cataracte et ont constaté que 93 % d'entre eux pensaient que les déchets de bloc opératoire étaient excessifs et devaient être réduits. Les répondants croyaient massivement que le profit et la limitation de la responsabilité sont des facteurs qui poussent les fabricants vers des produits à usage unique alors qu'ils (≥ 90 %) aimeraient que les fabricants tiennent compte de l'empreinte carbone dans la conception de leurs produits, utilisent du contenu recyclé pour les emballages et proposent davantage de produits et instrumentation réutilisables. Dans une enquête multinationale plus récente auprès des professionnels de la santé (n=4654), Kotcher et al. [50] ont fait état d'un niveau élevé pour s'engager dans l'éducation et dénoncer le changement climatique et, par conséquent, les menaces mondiales pour la santé, malgré le fait que de nombreux participants à l'enquête ont indiqué qu'une série d'obstacles personnels, professionnels et sociétaux les en empêchent. Ce constat suggère que des efforts restent à faire pour accompagner les professionnels de santé et les décideurs politiques de santé bien placés pour promouvoir et mettre en œuvre des actions de réduction des émissions de GES et de protection des populations face au changement climatique.

Dans une étude pilote visant à évaluer l'impact de la mise en place d'un projet de recyclage de « blue wrap » en neurochirurgie, Babu et al. [37] ont constaté qu'il y avait une amélioration significative de la connaissance du triage approprié des déchets après 8 semaines et 90 % des infirmières de la salle d'opération, des techniciens de nettoyage et du personnel de gestion des déchets étaient favorables à la viabilité du programme et ont exprimé leur soutien à une participation continue au programme. Thiel et al. [29] ont estimé qu'en éduquant les médecins anesthésistes et

le personnel approprié sur le choix d'anesthésique optimal pour l'environnement et en évitant les débits de gaz frais excessifs, les émissions de GES des hystérectomies abdominales et vaginales pourraient être réduites de 65 à 95 %. De même, Martin et al. [44] ont évalué l'efficacité du projet *REcycling in the Operating Room* (RECOR), mis en œuvre en 2013–2014 dans un centre de traumatologie de niveau I dans l'État de Washington (États-Unis) pour optimiser le flux de déchets dans la salle d'opération. Les auteurs ont rapporté que le poids et le nombre de sacs de déchets solides avaient diminué de 12 % et 6 % par bloc opératoire par jour, respectivement, tandis que le poids et le nombre de sacs de matériaux recyclés avaient augmenté de 19 % et 45 % par bloc opératoire par jour, respectivement. Jusqu'à 20 % de réduction du gaspillage d'eau ont été observés par Vacharathit et al. [28] après 5 ans de mise en œuvre d'un programme de bourses en durabilité des soins de santé. Ces résultats soulignent l'impact et la faisabilité de nouveaux protocoles et programmes pour réduire les émissions de GES et améliorer le tri des déchets dans une salle d'opération, se traduisant finalement par une réduction des coûts institutionnels et de l'empreinte carbone générée par le secteur de la santé.

Il faut maintenant aller vers une éco-conception des soins [51,52]. L'éco-conception consiste à intégrer l'environnement dès la conception d'un produit ou d'un service, et durant toutes les étapes de son cycle de vie (ACV : analyse du cycle de vie), depuis l'extraction des matières premières jusqu'au traitement en fin de vie, sans oublier la fabrication, le transport-logistique et l'utilisation. Initialement imaginée pour les produits, elle s'est aujourd'hui étendue aux services et même aux soins. On parle ainsi d'« éco-conception des soins » ou « éco-conception des parcours de soins ». Pour cela, il est nécessaire d'identifier au préalable toutes les ressources utilisées pour la réalisation du soin, d'en mesurer l'impact environnemental et de concevoir ce traitement en intégrant également la prévention. L'éco-conception des soins se décompose en trois volets visant à activer une stratégie d'atténuation de l'empreinte environnementale. Premièrement, en réduisant la demande de soins en amont par la prévention et la promotion de la santé, puis en optimisant au maximum les soins existants en alignant « consommation/production » de soins sur les besoins réels et enfin en atténuant l'impact environnemental des soins utiles.

L'analyse du cycle de vie est l'outil le plus avancé en matière d'évaluation globale et multicritères des impacts environnementaux. Cette méthode standardisée permet de mesurer les effets quantifiables des produits ou des services sur l'environnement. Elle analyse et quantifie, tout au long de la vie des produits, les flux physiques de matière et d'énergie liés aux activités humaines et évalue leurs impacts. Il s'agit de transposer la méthodologie aux soins mais surtout à l'ensemble d'un parcours de soins.

Les impacts écologiques et environnementaux de la salle d'opération ne doivent pas se faire au détriment de la sécurité des patients et des résultats cliniques. Cette préoccupation peut représenter un obstacle à la mise en place de nouveaux protocoles pour réduire l'empreinte écologique au bloc opératoire. En particulier à l'époque de la pandémie de COVID-19, la mise en œuvre de mesures renforcées de prévention des infections a entraîné de nombreuses pénuries de fournitures médicales et de médicaments à travers le monde, ce qui a eu un impact non négligeable sur la perspective écologique en ajoutant un élément supplémentaire dans le défi de durabilité du secteur de la santé. Cependant,

cela a également attiré l'attention mondiale sur les fragilités des systèmes de santé, des économies et des sociétés du monde et ainsi a peut-être ouvert une fenêtre d'opportunité pour concentrer les efforts et proposer de réels changements.

Cette revue systématique se limite à une synthèse qualitative de la littérature et à une évaluation critique des résultats disponibles, car aucune comparaison directe de l'empreinte carbone entre les chirurgies n'a été possible en raison de différences importantes entre les périmètres étudiés et les algorithmes utilisés pour calculer les émissions de GES. Néanmoins, cette revue nous donne un aperçu de ce qui peut être réalisé en salle d'opération dans plusieurs spécialités chirurgicales, et elle peut être le point de départ pour changer nos pratiques.

D'autres études sont préconisées car le changement climatique est une menace mondiale et les chercheurs sont bien placés pour plaider en faveur d'efforts mondiaux visant à réduire les émissions et à protéger les personnes contre le changement climatique, à commencer par les systèmes de santé [50].

Conclusion

Sur la base d'une synthèse qualitative de la littérature disponible, le bloc opératoire peut être ciblé par des programmes et protocoles mis en œuvre pour réduire l'empreinte carbone et améliorer le flux de déchets des systèmes de santé.

Points Forts

- Les interventions chirurgicales représentent une source non négligeable d'empreinte carbone.
- Les établissements chirurgicaux génèrent des émissions de CO₂ responsables du changement climatique et doivent donc adopter une stratégie pour améliorer la résilience dans leur approvisionnement en énergie, la chaîne d'approvisionnement en consommables et la gestion des déchets.
- En s'informant sur l'empreinte carbone et en adaptant leur pratique clinique pour minimiser son impact, les chirurgiens, les anesthésistes et le personnel infirmier peuvent améliorer la durabilité écologique des salles d'opération.
- La collaboration et le travail d'équipe entre chirurgiens, anesthésiologistes, personnel technique et infirmier, l'administration hospitalière et même les gouvernements locaux sont à privilégier pour faciliter l'identification et la mise en œuvre de protocoles améliorant l'empreinte écologique de la salle d'opération.
- Certaines pratiques et techniques cliniques devraient être modifiées afin de réduire les émissions de gaz à effet de serre et la production de déchets dans la salle d'opération. Les technologies respectueuses de l'environnement doivent être préférées à celles plus polluantes et plusieurs interventions doivent être mises en œuvre au quotidien pour améliorer la durabilité de la salle d'opération (par exemple, utiliser un minimum d'instruments, diminuer la consommation d'électricité, passer à des draps réutilisables et maximaliser le recyclage).

Droits de l'homme et des animaux

Les auteurs déclarent que les travaux décrits n'ont impliqué aucune expérimentation sur des humains ou des animaux.

Consentement éclairé et détails du patient

Les auteurs déclarent que les travaux décrits n'impliquent ni patients ni bénévoles.

Financement

Aucun.

Contributions des auteurs

Tous les auteurs attestent qu'ils répondent aux critères actuels de paternité du Comité international des rédacteurs de revues médicales (ICMJE).

Supplément en ligne. Matériels complémentaires

Les matériels complémentaires accompagnant la version en ligne de cet article sont disponibles sur <https://doi.org/10.1016/j.jviscsurg.2023.03.002>.

Déclaration de liens d'intérêts

PP a reçu des honoraires de 3M et Integra et détient des actions de Virtualisurg.

KS déclare des liens d'intérêts avec Sanofi & Viatris.

Les auteurs NdeA, CL, CC, GB, AGRB, FM, MCC et FCP déclarent ne pas avoir de liens d'intérêts.

Références

- [1] Papadopoulou A, Kumar NS, Vanhoestenbergh A, Francis NK. Environmental sustainability in robotic and laparoscopic surgery: systematic review. *Br J Surg* 2022;109:921–32.
- [2] Rizan C, Steinbach I, Nicholson R, Lillywhite R, Reed M, Bhutta MF. The carbon footprint of surgical operations: a systematic review. *Ann Surg* 2020;272:986–95.
- [3] Guetter CR, Williams BJ, Slama E, et al. Greening the operating room. *Am J Surg* 2018;216:683–8.
- [4] Whiting A, Tennison I, Roschnik S, Collins M. Surgery and the NHS carbon footprint. *Bulletin of the Royal College of Surgeons of England* 2020;102. <https://publishing.rcseng.ac.uk/doi/full/10.1308/rcsbull.152>.
- [5] Malik A, Lenzen M, McAlister S, McGain F. The carbon footprint of Australian health care. *Lancet Planet Health* 2018;2:e27–35.
- [6] Goel H, Wemyss TA, Harris T, et al. Improving productivity, costs and environmental impact in International Eye Health Services: using the 'Eyeefficiency' cataract surgical services auditing tool to assess the value of cataract surgical services. *BMJ Open Ophthalmol* 2021;6:e000642.
- [7] MacNeill AJ, Lillywhite R, Brown CJ. The impact of surgery on global climate: a carbon footprinting study of operating theatres in three health systems. *Lancet Planet Health* 2017;1:e381–8.
- [8] Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ* 2021;372:n71.
- [9] Morgan RL, Whaley P, Thayer KA, Schunemann HJ. Identifying the PECO: a framework for formulating good questions to explore the association of environmental and other exposures with health outcomes. *Environ Int* 2018;121:1027–31.
- [10] Institute WR. Greenhouse gas protocol; 2022 [cited 2022 April 2022]; disponible sur : <https://ghgprotocol.org/about-us>.
- [11] Slim K, Nini E, Forestier D, Kwiatkowski F, Panis Y, Chipponi J. Methodological index for non-randomized studies (minors): development and validation of a new instrument. *ANZ J Surg* 2003;73:712–6.
- [12] Bhattar P, Cypen SG, Carter SL, Tao JP. Pharmaceutical and supply waste in oculo-facial plastic surgery at a hospital-based outpatient surgery center. *Ophthal Plast Reconstr Surg* 2021;37:435–8.
- [13] Ferrero A, Thouvenin R, Hoogewoud F, et al. The carbon footprint of cataract surgery in a French University Hospital. *J Fr Ophthalmol* 2022;45:57–64.
- [14] Khor HG, Cho I, Lee K, Chieng LL. Waste production from phacoemulsification surgery. *J Cataract Refract Surg* 2020;46:215–21.
- [15] Latta M, Shaw C, Gale J. The carbon footprint of cataract surgery in Wellington. *N Z Med J* 2021;134:13–21.
- [16] Morris DS, Wright T, Somner JE, Connor A. The carbon footprint of cataract surgery. *Eye (Lond)* 2013;27:495–501.
- [17] Moussa G, Andreatta W, Ch'ng SW, et al. Environmental effect of air versus gas tamponade in the management of rhegmatogenous retinal detachment VR surgery: a multicentre study of 3,239 patients. *PLoS One* 2022;17:e0263009.
- [18] Moussa G, Ch'ng SW, Park DY, et al. Environmental effect of fluorinated gases in vitreoretinal surgery: a multicenter study of 4,877 patients. *Am J Ophthalmol* 2021;235:271–9.
- [19] Namburam S, Pillai M, Varghese G, Thiel C, Robin AL. Waste generated during glaucoma surgery: a comparison of two global facilities. *Am J Ophthalmol Case Rep* 2018;12:87–90.
- [20] Tauber J, Chinwuba I, Kleyn D, Rothschild M, Kahn J, Thiel CL. Quantification of the cost and potential environmental effects of unused pharmaceutical products in cataract surgery. *JAMA Ophthalmol* 2019;137:1156–63.
- [21] Thiel CL, Schehlein E, Ravilla T, et al. Cataract surgery and environmental sustainability: waste and lifecycle assessment of phacoemulsification at a private healthcare facility. *J Cataract Refract Surg* 2017;43:1391–8.
- [22] Caycedo-Marulanda A, Caswell J, Mathur S. Comparing the environmental impact of anesthetic gases during transanal total mesorectal excision surgery at a tertiary healthcare centre. *Can J Anaesth* 2020;67:607–8.
- [23] Gatenby PA. Modelling the carbon footprint of reflux control. *Int J Surg* 2011;9:72–4.
- [24] Gilliam AD, Davidson B, Guest J. The carbon footprint of laparoscopic surgery: should we offset? *Surg Endosc* 2008;22:573.
- [25] Power NE, Silberstein JL, Ghoneim TP, Guillonneau B, Touijer KA. Environmental impact of minimally invasive surgery in the United States: an estimate of the carbon dioxide footprint. *J Endourol* 2012;26:1639–44.
- [26] Rizan C, Bhutta MF. Environmental impact and life cycle financial cost of hybrid (reusable/single-use) instruments versus single-use equivalents in laparoscopic cholecystectomy. *Surg Endosc* 2022;36:4067–78.
- [27] Rizan C, Lillywhite R, Reed M, Bhutta MF. Minimising carbon and financial costs of steam sterilisation and packaging of reusable surgical instruments. *Br J Surg* 2022;109:200–10.
- [28] Vacharathit V, Walsh RM, Utech J, Asfaw SH. Action in health-care sustainability is a surgical imperative: this is a novel way to do it. *J Surg Educ* 2022;79:275–8.
- [29] Thiel CL, Eckelman M, Guido R, et al. Environmental impacts of surgical procedures: life cycle assessment of hysterectomy in the United States. *Environ Sci Technol* 2015;49:1779–86.

- [30] Thiel CL, Woods NC, Bilec MM. Strategies to reduce greenhouse gas emissions from laparoscopic surgery. *Am J Public Health* 2018;108:S158–64.
- [31] Unger SR, Hottle TA, Hobbs SR, et al. Do single-use medical devices containing biopolymers reduce the environmental impacts of surgical procedures compared with their plastic equivalents? *J Health Serv Res Policy* 2017;22:218–25.
- [32] Campion N, Thiel CL, DeBlois J, Woods NC, Landis AE, Bilec MM. Life cycle assessment perspectives on delivering an infant in the US. *Sci Total Environ* 2012;425:191–8.
- [33] Woods DL, McAndrew T, Nevadunsky N, et al. Carbon footprint of robotically-assisted laparoscopy, laparoscopy and laparotomy: a comparison. *Int J Med Robot* 2015;11:406–12.
- [34] Baxter NB, Yoon AP, Chung KC. Variability in the use of disposable surgical supplies: a surgeon survey and life cycle analysis. *J Hand Surg Am* 2021;46:1071–8.
- [35] Kooner S, Hewison C, Sridharan S, et al. Waste and recycling among orthopedic subspecialties. *Can J Surg* 2020;63:E278–83.
- [36] Zhang D, Dyer GSM, Blazar P, Earp BE. The environmental impact of open versus endoscopic carpal tunnel release. *J Hand Surg Am* 2023;48:46–52.
- [37] Babu MA, Dalenberg AK, Goodsell G, Holloway AB, Belau MM, Link MJ. Greening the operating room: results of a scalable initiative to reduce waste and recover supply costs. *Neurosurgery* 2019;85:432–7.
- [38] Leiden A, Cerdas F, Noriega D, Beyerlein J, Herrmann C. Life cycle assessment of a disposable and a reusable surgery instrument set for spinal fusion surgeries. *Resources Conserv Recycl* 2020;156:104704.
- [39] Lui JT, Rudmik L, Randall DR. Reducing the preoperative ecological footprint in otolaryngology. *Otolaryngol Head Neck Surg* 2014;151:805–10.
- [40] Ryan MT, Malmrose J, Riley CA, Tolisano AM. Operating room waste generated across otolaryngology cases. *Mil Med* 2021:usab548.
- [41] Berner JE, Gras MDP, Troisi L, Chapman T, Vidal P. Measuring the carbon footprint of plastic surgery: a preliminary experience in a Chilean teaching hospital. *J Plast Reconstr Aesthet Surg* 2017;70:1777–9.
- [42] Jabouri H, Abbott RA. Sustainability in skin cancer surgery. *Br J Dermatol* 2022;186:735–6.
- [43] Grinberg D, Buzzi R, Pozzi M, et al. Eco-audit of conventional heart surgery procedures. *Eur J Cardiothorac Surg* 2021;60:1325–31.
- [44] Martin DM, Yanez ND, Treggiari MM. An initiative to optimize waste streams in the operating room: RECYcling in the Operating Room (RECOR) project. *AANA J* 2017;85:108–12.
- [45] Wormer BA, Augenstein VA, Carpenter CL, et al. The green operating room: simple changes to reduce cost and our carbon footprint. *Am Surg* 2013;79:666–71.
- [46] Hafiani EM, Cassier P, Aho S, et al. Guidelines for clothing in the operating theatre, 2021. *Anaesth Crit Care Pain Med* 2022;41:101084.
- [47] Eckelman MJ, Sherman JD. Estimated global disease burden from US health care sector greenhouse gas emissions. *Am J Public Health* 2018;108:S120–2.
- [48] Project TS. Décarbonons la santé pour soigner durablement; 2021 [Disponible sur : https://theshiftproject.org/wp-content/uploads/2021/06/PTEF_Décarbonons-la-sante-pour-soigner-durablement.RI_Juin-2021.vf_.pdf].
- [49] Chang DF, Thiel CL, Ophthalmic Instrument C, Sterilization Task F. Survey of cataract surgeons' and nurses' attitudes toward operating room waste. *J Cataract Refract Surg* 2020;46:933–40.
- [50] Kotcher J, Maibach E, Miller J, et al. Views of health professionals on climate change and health: a multinational survey study. *Lancet Planet Health* 2021;5:e316–23.
- [51] d'Aranda E, Derkenne C, Bonnet L, Paries M. Aspects pratiques du développement durable en santé. *Prat Anesth Reanim* 2021;25:181–9.
- [52] Bonnet L, Marcantoni J, D'Aranda E. Éco-conception des nouveaux parcours de soins. *Prat Anesth Reanim* 2022;26:20–7.