



<http://portaildoc.univ-lyon1.fr>

Creative commons : Paternité - Pas d'Utilisation Commerciale -  
Pas de Modification 2.0 France (CC BY-NC-ND 2.0)



<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.0/fr>



UNIVERSITÉ CLAUDE BERNARD LYON 1

ANNÉE 2021

N° 22

**Effet d'une action d'information auprès des professionnels  
sur l'évolution de l'empreinte carbone des anesthésiques inhalés  
au CHU de Lyon de 2015 à 2020**

-  
*Effectiveness of information of professionals  
on the evolution of the carbon footprint of inhaled anesthetics  
in a French multisite university hospital from 2015 to 2020*

**THÈSE D'EXERCICE EN MÉDECINE**

Présentée à l'Université Claude Bernard Lyon 1

Et soutenue publiquement le 22 février 2021

En vue d'obtenir le titre de Docteur en Médecine

Par

**Coralie CHAMBRIN**

née le 17/06/1991 à Reims

**Sous la direction du Dr. Lionel BOUVET**

**Effet d'une action d'information auprès des professionnels  
sur l'évolution de l'empreinte carbone des anesthésiques  
inhalés au CHU de Lyon de 2015 à 2020**

-

*Effectiveness of information of professionals  
on the evolution of the carbon footprint of inhaled anesthetics  
in a French multisite university hospital from 2015 to 2020*

**THÈSE D'EXERCICE EN MÉDECINE**

Présentée à l'Université Claude Bernard Lyon 1

Et soutenue publiquement le 22 février 2021

En vue d'obtenir le titre de Docteur en Médecine

Par

**Coralie CHAMBRIN**

née le 17/06/1991 à Reims

**Sous la direction du Dr. Lionel BOUVET**



# UNIVERSITÉ CLAUDE BERNARD LYON 1

Président	Pr Frédéric FLEURY
Président du Comité de Coordination Etudes Médicales	Pr Pierre COCHAT des
Directeur Général des services	M. Damien VERHAEGHE
<b>Secteur Santé :</b>	
Doyen de l'UFR de Médecine Lyon Est	Pr Gilles RODE
Doyenne de l'UFR de Médecine Lyon-Sud Charles Mérieux	Pr Carole BURILLON
Doyenne de l'Institut des Sciences Pharmaceutiques (ISPB) VINCIGUERRA	Pr Christine
Doyenne de l'UFR d'Odontologie	Pr Dominique SEUX
Directeur de l'Institut des Sciences et Techniques Réadaptation (ISTR)	Dr Xavier PERROT de
Directrice du département de Biologie Humaine SCHOTT	Pr Anne-Marie
<b>Secteur Sciences et Technologie :</b>	
Administratrice Provisoire de l'UFR BioSciences GIESELER	Pr Kathrin
Administrateur Provisoire UFR Faculté des Sciences Technologies	Pr Bruno ANDRIOLETTI Et
Directeur de l'UFR Sciences et Techniques des VANPOULLE Activités Physiques et Sportives (STAPS)	M. Yannick
Directeur de Polytech	Pr Emmanuel PERRIN
Directeur de l'IUT	Pr Christophe VITON
Directeur de l'Institut des Sciences Financières et Assurances (ISFA) LEBOISNE	M. Nicolas
Directrice de l'Observatoire de Lyon	Pr Isabelle DANIEL

Administrateur Provisoire de l'Institut National Supérieur  
CHAREYRON  
du Professorat et de l'Education

M. Pierre

Directrice du Département Composante Génie Electrique et Procédés  
FERRIGNO

Pr Rosaria

Directeur du Département Composante Informatique  
TORBAGHAN

Pr Behzad SHARIAT

Directeur du Département Composante Mécanique  
BUFFAT

Pr Marc



## Faculté de Médecine Lyon Est

### Liste des enseignants 2020/2021

#### Professeurs des Universités – Praticiens Hospitaliers Classe exceptionnelle Echelon 2

LAY	Jean-Yves	Cancérologie ; radiothérapie
BORSON-CHAZOT	Françoise	Endocrinologie, diabète et maladies métaboliques ; gynécologie médicale
CHASSARD	Dominique	Anesthésiologie-réanimation ; médecine d'urgence
CLARIS	Olivier	Pédiatrie
COCHAT	Pierre	Pédiatrie ( <i>en retraite à compter du 01/03/2021</i> )
ETIENNE	Jérôme	Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière
FINET	Gérard	Cardiologie
GUERIN	Claude	Réanimation ; médecine d'urgence
GUERIN	Jean-François	Biologie et médecine du développement et de la reproduction ; gynécologie médicale
LACHAUX	Alain	Pédiatrie
MIOSSEC	Pierre	Rhumatologie
MORNEX	Jean-François	Pneumologie ; addictologie
NEGRIER	Sylvie	Cancérologie ; radiothérapie
NIGHOGHOSSIAN	Norbert	Neurologie
NINET	Jean	Chirurgie thoracique et cardiovasculaire
OBADIA	Jean-François	Chirurgie thoracique et cardiovasculaire
OVIZE	Michel	Cardiologie ( <i>en disponibilité jusqu'au 31.08.21</i> )
PONCHON	Thierry	Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie
REVEL	Didier	Radiologie et imagerie médicale
RIVOIRE	Michel	Cancérologie ; radiothérapie
VANDENESCH	François	Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière
ZOULIM	Fabien	Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie

#### Professeurs des Universités – Praticiens Hospitaliers Classe exceptionnelle Echelon 1

BERTRAND	Yves	Pédiatrie
BOILLOT	Olivier	Chirurgie viscérale et digestive
BRETON	Pierre	Chirurgie maxillo-faciale et stomatologie
CHEVALIER	Philippe	Cardiologie

COLIN	Cyrille	Epidémiologie, économie de la santé et prévention
D'AMATO	Thierry	Psychiatrie d'adultes ; addictologie
DELAHAYE	François	Cardiologie
DENIS	Philippe	Ophthalmologie
DOUEK	Charles-Philippe	Radiologie et imagerie médicale
DUCERF	Christian	Chirurgie viscérale et digestive
DUMONTET	Charles	Hématologie ; transfusion
DURIEU	Isabelle	Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement ; médecine générale ; addictologie
EDERY	Charles Patrick	Génétique
GAUCHERAND	Pascal	Gynécologie-obstétrique ; gynécologie médicale
GUEYFFIER	François	Pharmacologie fondamentale ; pharmacologie clinique ; addictologie
HONNORAT	Jérôme	Neurologie
LERMUSIAUX	Patrick	Chirurgie thoracique et cardiovasculaire
LINA	Bruno	Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière
MERTENS	Patrick	Neurochirurgie
ELON	Emmanuel	Néphrologie
MOULIN	Philippe	Endocrinologie
NEGRIER	Claude	Hématologie ; transfusion
RODE	Gilles	Médecine physique et de réadaptation
SCHOTT-PETHELAZ	Anne-Marie	Epidémiologie, économie de la santé et prévention
TRUY	Eric	Oto-rhino-laryngologie
TERRA	Jean-Louis	Psychiatrie d'adultes ; addictologie
TURJMAN	Francis	Radiologie et imagerie médicale

## Professeurs des Universités – Praticiens Hospitaliers

### Première classe

ADER	Florence	Maladies infectieuses ; maladies tropicales
ARGAUD	Laurent	Réanimation ; médecine d'urgence
	Frédéric	Anesthésiologie-réanimation ; médecine d'urgence
BADET	Lionel	Urologie
BERTHEZENE	Yves	Radiologie et imagerie médicale
BESSEREAU	Jean-Louis	Biologie cellulaire
BRAYE	Fabienne	Chirurgie plastique, reconstructrice et esthétique ; Brûlologie
BUZLUCA DARGAUD	Yesim	Hématologie ; transfusion
CALENDER	Alain	Génétique
CHAPURLAT	Roland	Rhumatologie
CHARBOTEL	Barbara	Médecine et santé au travail

COLOMBEL	Marc	Urologie
COTTIN	Vincent	Pneumologie ; addictologie
COTTON	François	Radiologie et imagerie médicale
DAVID	Jean-Stéphane	Anesthésiologie-réanimation ; médecine d'urgence
DEVOUASSOUX	Mojgan	Anatomie et cytologie pathologiques
DI FILLIPO	Sylvie	Cardiologie
DUBOURG	Laurence	Physiologie
DUBERNARD	Gil	Gynécologie-obstétrique ; gynécologie médicale
DUMORTIER	Jérôme	Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie
FANTON	Laurent	Médecine légale
FAUVEL	Jean-Pierre	Thérapeutique
FELLAHI	Jean-Luc	Anesthésiologie-réanimation ; médecine d'urgence
FERRY	Tristan	Maladie infectieuses ; maladies tropicales
FOURNERET	Pierre	Pédopsychiatrie ; addictologie
FROMENT (TILIKETE)	Caroline	Neurologie
GUENOT	Marc	Neurochirurgie
GUIBAUD	Laurent	Radiologie et imagerie médicale
JACQUIN-COURTOIS	Sophie	Médecine physique et de réadaptation
JAVOUHEY	Etienne	Pédiatrie
JUILLARD	Laurent	Néphrologie
JULLIEN	Denis	Dermato-vénéréologie
KODJIKIAN	Laurent	Ophtalmologie
KROLAK SALMON	Pierre	Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement ; médecine générale ; addictologie
LEJEUNE	Hervé	Biologie et médecine du développement et de la reproduction ; gynécologie médicale
LESURTEL	Mickaël	Chirurgie générale
MABRUT	Jean-Yves	Chirurgie générale
MERLE	Philippe	Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie
MICHEL	Philippe	Epidémiologie, économie de la santé et prévention
MURE	Pierre-Yves	Chirurgie infantile
NICOLINO	Marc	Pédiatrie
PICOT	Stéphane	Parasitologie et mycologie
PONCET	Gilles	Chirurgie viscérale et digestive
POULET	Emmanuel	Psychiatrie d'adultes ; addictologie
RAVEROT	Gérald	Endocrinologie, diabète et maladies métaboliques ; gynécologie médicale
RAY-COQUARD	Isabelle	Cancérologie ; radiothérapie
ROBERT	Maud	Chirurgie digestive
ROSSETTI	Yves	Médecine Physique de la Réadaptation

ROUVIERE	Olivier	Radiologie et imagerie médicale
ROY	Pascal	Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication
SAOUD	Mohamed	Psychiatrie d'adultes et addictologie
SCHAEFFER	Laurent	Biologie cellulaire
VANHEMS	Philippe	Epidémiologie, économie de la santé et prévention
VUKUSIC	Sandra	Neurologie
WATTEL	Eric	Hématologie ; transfusion

### **Professeurs des Universités – Praticiens Hospitaliers Seconde Classe**

BACCHETTA	Justine	Pédiatrie
BOUSSEL	Loïc	Radiologie et imagerie médicale
CHENE	Gautier	Gynécologie-obstétrique ; gynécologie médicale
COLLARDEAU FRACHON	Sophie	Anatomie et cytologie pathologiques
CONFAVREUX	Cyrille	Rhumatologie
COUR	Martin	Médecine intensive de réanimation
CROUZET	Sébastien	Urologie
CUCHERAT	Michel	Pharmacologie fondamentale ; pharmacologie clinique ; addictologie
DI ROCCO	Federico	Neurochirurgie
DUCLOS	Antoine	Epidémiologie, économie de la santé et prévention
DUCRAY	François	Neurologie
EKER	Omer	Radiologie ; imagerie médicale
GILLET	Yves	Pédiatrie
GLEIZAL	Arnaud	Chirurgie maxillo-faciale et stomatologie
GUEBRE-EGZIABHER	Fitsum	Néphrologie
HENAINE	Roland	Chirurgie thoracique et cardiovasculaire
HOT	Arnaud	Médecine interne
HUISSOUD	Cyril	Gynécologie-obstétrique ; gynécologie médicale
JANIER	Marc	Biophysique et médecine nucléaire
JARRAUD	Sophie	Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière
LESCA	Gaëtan	Génétique
O	Massimo	Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie
LUKASZEWICZ	Anne-Claire	Anesthésiologie-réanimation ; médecine d'urgence
MAUCORT BOULCH	Delphine	Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication
MEWTON	Nathan	Cardiologie
MEYRONET	David	Anatomie et cytologie pathologiques
MILLON	Antoine	Chirurgie vasculaire ; médecine vasculaire

MOKHAM	Kayvan	Chirurgie viscérale et digestive
MONNEUSE	Olivier	Chirurgie générale
NATAF	Serge	Cytologie et histologie
PERETTI	Noël	Pédiatrie
PIOCHE	Mathieu	Gastroentérologie
RHEIMS	Sylvain	Neurologie
RICHARD	Jean-Christophe	Réanimation ; médecine d'urgence
RIMMELE	Thomas	Anesthésiologie-réanimation ; médecine d'urgence
ROMAN	Sabine	Gastroentérologie
SOUQUET	Jean-Christophe	Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie
THAUNAT	Olivier	Néphrologie
THIBAUT	Hélène	Cardiologie
VENET	Fabienne	Immunologie

### **Professeur des Universités**

#### **Classe exceptionnelle**

PERRU	Olivier	Épidémiologie, histoire des sciences et techniques
-------	---------	--

#### **Professeur des Universités - Médecine Générale Première classe**

FLORI	Marie
LETRILLIART	Laurent

#### **Professeur des Universités - Médecine Générale Deuxième classe**

ZERBIB	Yves
--------	------

#### **Professeurs associés de Médecine Générale**

FARGE	Thierry
LAINÉ	Xavier

#### **Professeurs associés autres disciplines**

BERARD	Annick	Pharmacie fondamentale ; pharmacie clinique
CHVETZOFF	Gisèle	Médecine palliative
LAMBLIN	Géry	Gynécologie ; obstétrique

#### **Professeurs émérites**

BEZIAT	Jean-Luc	Chirurgie maxillo-faciale et stomatologie
CHAYVIALLE	Jean-Alain	Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie
CORDIER	Jean-François	Pneumologie ; addictologie
DALIGAND	Liliane	Médecine légale et droit de la santé

DROZ	Jean-Pierre	Cancérologie ; radiothérapie
FLORET	Daniel	Pédiatrie
GHARIB	Claude	Physiologie
LEHOT	Jean-Jacques	Anesthésiologie-réanimation ; médecine d'urgence
MAUGUIERE	François	Neurologie
MELLIER	Georges	Gynécologie
MICHALLET	Mauricette	Hématologie ; transfusion
MOREAU	Alain	Médecine générale
NEIDHARDT	Jean-Pierre	Anatomie
PUGEAUT	Michel	Endocrinologie
RUDIGOZ	René-Charles	Gynécologie
SCHEIBER	Christian	Biophysique ; Médecine Nucléaire
SINDOU	Marc	Neurochirurgie
THIVOLET-BEJUI	Françoise	Anatomie et cytologie pathologiques
TOURAINÉ	Jean-Louis	Néphrologie
TREPO	Christian	Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie
TROUILLAS	Jacqueline	Cytologie et histologie

### **Maîtres de Conférence – Praticiens Hospitaliers Hors classe**

BENCHAIB	Mehdi	Biologie et médecine du développement et de la reproduction ; gynécologie médicale
BRINGUIER	Pierre-Paul	Cytologie et histologie
CHALABREYSSE	Lara	Anatomie et cytologie pathologiques
HERVIEU	Valérie	Anatomie et cytologie pathologiques
KOLOPP-SARDA	Marie Nathalie	Immunologie
LE BARS	Didier	Biophysique et médecine nucléaire
MENOTTI	Jean	Parasitologie et mycologie
PERSAT	Florence	Parasitologie et mycologie
PIATON	Eric	Cytologie et histologie
SAPPEY-MARINIER	Dominique	Biophysique et médecine nucléaire
STREICHENBERGER	Nathalie	Anatomie et cytologie pathologiques
TARDY GUIDOLLET	Véronique	Biochimie et biologie moléculaire

### **Maîtres de Conférence – Praticiens Hospitaliers Première classe**

BONTEMPS	Laurence	Biophysique et médecine nucléaire
CASALEGNO	Jean-Sébastien	Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière
CHARRIERE	Sybil	Endocrinologie

COZON	Grégoire	Immunologie
ESCURET	Vanessa	Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière
PINA-JOMIR	Géraldine	Biophysique et médecine nucléaire
PLOTTON	Ingrid	Biochimie et biologie moléculaire
RABILLOUD	Muriel	Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication
SCHLUTH-BOLARD	Caroline	Génétique
TRISTAN	Anne	Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière
VASILJEVIC	Alexandre	Anatomie et cytologie pathologiques
VLAEMINCK-GUILLEM	Virginie	Biochimie et biologie moléculaire

### **Maîtres de Conférences – Praticiens Hospitaliers Seconde classe**

BOUCHIAT SARABI	Coralie	Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière
BUTIN	Marine	Pédiatrie
CORTET	Marion	Gynécologie-obstétrique ; gynécologie médicale
COUTANT	Frédéric	Immunologie
CURIE	Aurore	Pédiatrie
DURUISSEAUX	Michaël	Pneumologie
HAESEBAERT	Julie	Médecin de santé publique
HAESEBAERT	Frédéric	Psychiatrie d'adultes ; addictologie
JACQUESSON	Timothée	Neurochirurgie
JOSSET	Laurence	Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière
LACON REYNAUD	Quitterie	Médecine interne ; gériatrie ; addictologie
LEMOINE	Sandrine	Néphrologie
NGUYEN CHU	Huu Kim An	Pédiatrie
ROUCHER BOULEZ	Florence	Biochimie et biologie moléculaire
SIMONET	Thomas	Biologie cellulaire

### **Maître de Conférences Classe normale**

DALIBERT	Lucie	Epistémologie, histoire des sciences et techniques
GOFFETTE	Jérôme	Epistémologie, histoire des sciences et techniques
LASSERRE	Evelyne	Ethnologie préhistoire anthropologie
LECHOPIER	Nicolas	Epistémologie, histoire des sciences et techniques
NAZARE	Julie-Anne	Physiologie
PANTHU	Baptiste	Biologie Cellulaire
VIALON	Vivian	Mathématiques appliquées
VIGNERON	Arnaud	Biochimie, biologie
VINDRIEUX	David	Physiologie

### **Maitre de Conférence de Médecine Générale**

CHANELIERE	Marc
------------	------

### **Maîtres de Conférences associés de Médecine Générale**

DE FREMINVILLE	Humbert
PERROTIN	Sofia
PIGACHE	Christophe
ZORZI	Frédéric



## LE SERMENT D'HIPPOCRATE

Je promets et je jure d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité dans l'exercice de la Médecine.

Je respecterai toutes les personnes, leur autonomie et leur volonté, sans discrimination.

J'interviendrai pour les protéger si elles sont vulnérables ou menacées dans leur intégrité ou leur dignité. Même sous la contrainte, je ne ferai pas usage de mes connaissances contre les lois de l'humanité.

J'informerai les patients des décisions envisagées, de leurs raisons et de leurs conséquences. Je ne tromperai jamais leur confiance.

Je donnerai mes soins à l'indigent et je n'exigerai pas un salaire au dessus de mon travail.

Admis dans l'intimité des personnes, je tairai les secrets qui me seront confiés et ma conduite ne servira pas à corrompre les mœurs.

Je ferai tout pour soulager les souffrances. Je ne prolongerai pas abusivement la vie ni ne provoquerai délibérément la mort.

Je préserverai l'indépendance nécessaire et je n'entreprendrai rien qui dépasse mes compétences. Je perfectionnerai mes connaissances pour assurer au mieux ma mission.

Que les hommes m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses. Que je sois couvert d'opprobre et méprisé si j'y manque.



# REMERCIEMENTS

## **Monsieur le Pr. Dominique CHASSARD,**

Merci de me faire l'honneur de présider ce jury. Je vous remercie de m'avoir accueillie au sein de l'hôpital Femme-Mère-Enfant lors de la découverte de l'anesthésie pédiatrique, une spécialité aussi rigoureuse que passionnante, ainsi que d'avoir soutenu la réalisation de ce travail.

## **Monsieur le Pr. Frédéric AUBRUN,**

Je vous remercie d'avoir accepté de juger ce travail. Merci pour votre accueil « en haut de la colline » à travers les 5 semestres d'apprentissage dont j'ai pu y bénéficier, là où j'ai pris plaisir à travailler avec les équipes autant médicales que paramédicales du pôle d'anesthésie réanimation, dans une formation empreinte de rigueur et de bienveillance, et où je suis ravie et honorée de poursuivre mon chemin dès mai. Merci également pour votre aide et votre participation à cette étude.

## **Monsieur le Pr. Vincent PIRIOU,**

Je vous remercie d'avoir accepté de juger ce travail. Merci pour votre engagement, que j'ai pu apprécier lors de la première vague de la pandémie de covid-19 alors que je travaillais au sein des services de réanimation néo-crées de l'est à l'ouest en passant par Cassiopée; ainsi que pour votre aide et votre participation à cette étude.

## **Docteur Lionel BOUVET,**

Je te remercie de m'avoir accompagnée et épaulée tout au long de ce travail qui me tient à cœur. Merci pour ton soutien, ta disponibilité et ta bienveillance; j'espère que nous réussirons à mener ce projet à bien.

## **Docteur Claire GARIEL,**

Je te remercie pour le trimestre en anesthésie pédiatrique passé à tes côtés, pour ton engagement auprès des enfants et des familles, pour ta pédagogie, ta présence et ta bienveillance. Ce projet n'aurait pas vu le jour sans toi ; merci donc de juger aujourd'hui le fruit de ce travail.

**Je tiens également à remercier les personnes m'ayant aidée lors du minutieux travail de collecte des données nécessaires aux analyses statistiques de cette étude, collaborations sans lesquelles cette étude n'aurait pu voir le jour:**

Merci notamment au Pr. RIMMELE T., au Pr. FELLAHI J.L., ainsi qu'au Pr. LUKASZEWICZ A.C. pour leur aide et leur participation à cette étude.

Merci au Dr. Eric PRADAT, qui, par son accompagnement et son aide à travers les affres du Département d'Informatique Médicale, m'a aidée à recueillir et à clarifier l'évolution de l'activité chirurgicale ainsi que du nombre d'anesthésies générales mensuellement réalisées depuis 2015 au sein des HCL.

Merci aux pharmaciens de chaque centre hospitalier pour leur aide et leur réactivité:

Au Dr. LÉBOUCHER exerçant à Croix-Rousse,

Au Dr. PARAT à Lyon Sud,

Au Dr PAILLET à Edouard Herriot,

Au Dr. RIBES au Groupement Hospitalier Est

Ainsi qu'à Mme Zahia Arezki (Groupement Hospitalier Est) et Mme Sandrine Berthilier (Lyon Sud), assistantes administratives.

Merci également à la Bibliothèque Scientifique de l'Internat de Lyon et aux Hospices Civils de Lyon pour leur aide à travers le Parcours d'Aide à la Publication de l'AGIL dont j'ai eu la chance de bénéficier.

## ***À ma famille,***

*Merci à Dragos, qui m'épaule tous les jours, me pousse et me supporte non sans mérite et courage, et envers qui je ne serai jamais assez reconnaissante d'être celui qu'il est et a su être pour moi. En espérant être à la hauteur et te rendre ton amour, ton soutien et ta bienveillance au centuple.*

*Merci à ma bretonne de mère et à mon borné de père de m'avoir permis de me construire, de faire ces études, mais aussi merci d'avoir enduré ces longues années non sans mal et parfois je le sais quelques inquiétudes; d'être les gens exceptionnels qu'ils sont avec leurs qualités et leurs défauts - les chiens ne font pas des chats, paraît-il!*

*A ma sœur Clémentine, qui « finalement est bien contente de pas avoir dû en arriver là », merci de m'avoir entraînée au combat et surtout à la défense dès le plus jeune âge, et d'équilibrer la fratrie avec un peu plus de légèreté et d'optimisme. Que l'école des cadres et le déménagement qui arrivent te permettent de t'épanouir autant professionnellement que personnellement.*

*Merci à Sylvie de nous avoir accompagnées à grandir et d'être la joyeuse personne qu'elle reste; un jour peut-être réussiras-tu à m'amener danser en bal folk ?*

*Merci à ma grand-mère Jeannine, qui je l'espère aura pu être présente en ce jour si particulier.*

*À tonton Bruno et Maguy, Lionel, Dédé et Véro, Fabien.*

*À quand la cousinade, Quentin, Pauline et tes enfants?*

*À Félix, Renée et Roger ; qui j'espère seront fiers d'où qu'ils puissent être. Une pensée non sans émotion pour Delphine et Marie-Noëlle, parties trop tôt, à plus, on trinquera là-haut.*

## ***À mes amis,***

*À ceux présents depuis toujours, ceux qui savent que la distance n'entache en rien l'affection que je leur porte et qui peuvent compter sur moi autant que moi sur eux à toute heure du jour et de la nuit, même si je n'ai jamais été une grande fan de téléphonie mobile.*

*À Julia, toi avec qui j'ai partagé tant de choses, de la cour du collège Léopold Sédar Senghor aux heures de confidences sans pareilles, à notre colocation rémoise, au soutien indéfectible de la P1 jusqu'à aujourd'hui, en passant par les heures de révisions forcées de LCA pour l'ECN s'apparentant presque à de la torture, aux remontages de moral à grand coups de jogging ou d'heures de psychothérapie analytique. On en voulait déjà quand on se serrait les coudes pour l'ECN, et ça a payé, on en est là. Hâte d'être le témoin d'ici peu d'une famille qui s'agrandit encore. A nous et à*

notre amitié qui durera jusqu'à bien longtemps sans aucun doute, ta limarrior, KKL. Et CORNICHON, également.

Merci à Adeline, Augustine, Eva, Victoire R.; à tous ces moments heureux depuis 15 ans qui savent toujours et encore me rappeler que la médecine n'est qu'une partie de ma vie, que la vie ne tourne pas qu'autour du patient d'hier ou de la garde de demain; aux nombreuses heures écumées au Gin, au CAP, aux virées au Vogue pour les plus téméraires ; aux souvenirs de Jean Jau et aux épreuves traversées.

Merci de votre patience, quand je disais toujours non parce qu'il y avait un concours ou un partiel à préparer, merci pour votre soutien aveugle, pour votre compréhension, pour votre amitié, malgré l'éloignement, de la Réunion à Bordeaux, en passant par Reims. Vous me manquez! Et quand je vois le temps qui passe et les unions, PACS, mariages, enfants, ce que vous êtes devenues, je suis fière de faire partie de votre vie. Bisous à Mehdi, Victor et au petit Eliott qui vient d'arriver, JR, Sam et à baby Arsène, qui savent les rendre heureuses.

À *Adeline*, pour ta bonne humeur, ton optimisme, ta motivation permanente. Je suis triste de ne pas avoir pu venir vous voir à la Réunion depuis votre déménagement; j'espère que les conditions seront bientôt favorables pour remédier à ça.

À *Augustine, ma Gus*, on se suit depuis le lycée, merci pour tous les bons moments passés ensemble, hâte qu'on puisse se revoir plus souvent, que ce TGV Lyon - Bordeaux existe! Je suis triste et désolée de ne pas avoir pu rencontrer Eliott jusque-là, j'espère aussi pouvoir y remédier rapidement.

À *Eva, ma Và*, toujours partante pour tout, toujours motivée et de bonne humeur, on en a passé des moments ensemble au lycée, entre le champagne au parc du mercredi après midi, les tarots au St André, le jeu de l'oie fait maison, et les sucettes coeurs devant le lycée (j'suis narreuse, sauf pour les sucettes coeurs). Que de bons souvenirs.

À *Victoire R., ma Vic*, que de bons souvenirs... De ta crête en seconde, à nos voyages ensemble (Paris, l'Italie, stracciatella!), la rencontre de gens dont on se serait passées ("tu me sors par les trous de nez"), les nuits sur le podium avec des lendemains compliqués, on a fait n'importe quoi, mais c'était drôlement drôle. Contentée qu'on soit presque voisines maintenant pour continuer nos longues années d'amitié, et voir grandir le premier baby de la bande.

À *Alex*, compagnon de route depuis le lycée aussi; merci pour ta spontanéité, ton entièreté, pour toutes ces discussions sans tabous qu'on a pu avoir, et pour toutes celles à venir.

À *Léa*, merci d'être là; le covid fini et ces thèses bookées, on inaugurera un direct Lyon - Marseille à renfort de cigares entre Dragos et Val et de virées en bateau pour nous; j'espère qu'on fera d'autres voyages dépaysants à défaut d'avoir pu les faire pendant notre dispo-covid, d'autres road trips. Merci pour ta bonne humeur permanente, pour ton ouverture d'esprit.

À *Claire*, hâte d'inaugurer les week-ends annéciens! J'attends toujours l'exemplaire de ta thèse en allemand. Et j'aimerais que tu me donnes un peu de ton don pour les déguisements. Nasdrovia!

À *Victoire P.*, à ta légèreté, ton rire, spéciale dédicace à ma compatriote de soirées de la vingtaine, heureusement pour notre compte en banque qu'on n'est pas rentrées au Vogue une fois sur 2. A notre assagissement. A quand la programmation de la prochaine escapade sous-marine ?

À *Max E.*, pilier depuis les premières années médecine, toi dont j'admire le peu de besoin de sommeil et l'esprit "fonce tête baissée, on se reposera quand on sera mort" et légèrement casse-cou. Fais quand même attention à toi. Vivement le retour des pintes en terrasse!

À *Faustine*, pour avoir été là depuis la première année d'internat, à la découverte de notre belle et difficile spécialité, entre débriefings et soutien, à se pousser à résister dans les moments difficiles et à donner le meilleur de nous-même en toutes circonstances. A nos années de colocation. Toujours heureuse de te voir t'épanouir; au plaisir de travailler avec toi très bientôt en tant que collègue et amie.

À *Marine S. et Marie D.*, depuis Bourg vous faites partie des vraies, mes valentines de 2016, je vous souhaite le bonheur, la réussite, l'épanouissement, le tour du monde, les personnes que vous méritez, et de nombreux autres moments ensemble.

À *Martin Schleech*, toi sans qui les histoires improbables de fins de soirées n'auraient jamais été les mêmes.

À *Delphine R.*: on rappellera le 06 du bec de jazz hors temps de pandémie pour vérifier qu'on peut aller danser !

À *Charles*, ton grain de folie et nos discussions philosopho-métaphysiques me manquent pas mal mais on se retrouve bientôt en haut sur la colline pour de nouvelles aventures !

À *Julia F.*, du premier jour du week-end d'accueil de l'internat à visiter Lyon sous la pluie à nos pintes de bières en passant par notre mémorable voyage à Copenhague.

A *Fanély*, à *Mathilde P.*, à *Bastien D.*; pourvu que la fin du covid nous permettent de se retrouver un peu mieux.

*Un merci tout particulier à Julia, Léa et Fanély* pour la nuit passée dans la lavomatic de la Marne à Bordeaux, on savait qu'on en rirait un jour, mais j'attends ma vengeance avec impatience.

Un immense merci à *Marie-Luce P.*, sans qui je ne connaîtrais pas celui qui partage ma vie, et qui est au passage un exemple pour moi notamment sur le plan professionnel. Pourrais-tu me donner un peu de résistance à la fatigue, s'il te plaît ?

**Merci à ceux que je prends toujours plaisir à voir autour d'un ou plusieurs verres ou d'un café, et qui manquent bien trop à la vie covidée. En espérant n'oublier personne:** *dirty Guigui et Oliv', Ludi, Nico, Alexia, Carole, Martin et Elise, Max (range là on a dit), Kad, Marion, Chou et Mathis, Nath, Maricau, Pierre et Arthur, Ben, Lisa et Elliott, Sylvain, Momo, Juliette et Olivia, Aurel et Julie, Hich et Chris, Choukri, Raph, Christophe et Oriane, Olga, le Creach, Irina...*

**À ceux que je vois malheureusement moins mais qui restent dans mon cœur:** *Cécile, Caro, Ludo.*

**Aux anesthésistes-réanimateurs ainsi qu’aux équipes paramédicales que j’ai eu la chance de croiser durant mon cursus**, qui m’ont poussée à me dépasser, qui ont renforcé mon envie de prendre soin et de guérir dans les meilleures conditions que l’on puisse engager dans notre extraordinaire spécialité.

Merci aux médecins et aux équipes paramédicales de la réanimation de Bourg-en-Bresse et de Valence pour leur gentillesse, leur pédagogie et leur accueil.

Merci aux équipes de P-réanimation pour leur rigueur et le déclic qu’ils m’ont insufflé vers plus de motivation et d’amélioration perpétuelle.

Merci aux services d’anesthésie et de réanimation pédiatriques de l’HFME qui m’ont accueillie et fait découvrir cette autre branche de la spécialité passionnante, complète et humaine.

Merci à toute l’équipe des anesthésistes réanimateurs de l’hôpital de la Croix Rousse pour les différents stages où j’ai pu bénéficier de leur savoir, de leur passion, et d’une formation toujours empreinte de rigueur et de bonne humeur. Je suis honorée de continuer mon cursus parmi vous dès mai 2021.

Merci à l’équipe de l’infirmierie protestante pour leur accueil, leur confiance et leur sympathie, et également particulièrement aux équipes d’IADEs et d’IBODEs pour tous les bons moments passés au bloc ! Au plaisir de retravailler avec vous.



# TABLE DES MATIÈRES

<b>REMERCIEMENTS</b> .....	<b>15</b>
<b>LISTE DES ABRÉVIATIONS</b> .....	<b>25</b>
<b>1) RÉSUMÉ EN FRANÇAIS</b> .....	<b>27</b>
<b>2) INTRODUCTION &amp; BIBLIOGRAPHIE</b> .....	<b>31</b>
2.1 – POLLUTION ET SYSTÈME DE SANTÉ : DES INFLUENCES RÉCIPROQUES.....	33
2.2 – IMPACT CARBONE DES ANESTHÉSIIQUES .....	39
2.3 - LEVIERS D’ACTION VERS UNE ANESTHÉSIE DURABLE.....	43
2.4 – RATIONNEL DE L’ÉTUDE .....	47
<b>3) ARTICLE</b> .....	<b>49</b>
3.1 – ABSTRACT.....	51
3.2 - GLOSSARY OF TERMS .....	53
3.3 - INTRODUCTION .....	55
3.4 - METHODS.....	57
3.5 - RESULTS .....	61
3.6 - DISCUSSION .....	69
3.7 - BIBLIOGRAPHY.....	73
3.8 – APPENDIX : THE SLIDESHOW OF THE ENVIRONMENTAL INFORMATION FOCUSING ON HYPNOTICS IN 2019.....	77
<b>4) DISCUSSION</b> .....	<b>81</b>
4.1 - VALIDITÉ EXTERNE .....	85
4.2 - POINTS FORTS .....	87
4.3 - IMPORTANCE DANS LE CONTEXTE ACTUEL .....	89
4.4 – LIMITES.....	91
4.5 – PERSPECTIVES.....	93
<b>5) BIBLIOGRAPHIE</b> .....	<b>97</b>
<b>6) CONCLUSIONS</b> .....	<b>101</b>



# LISTE DES ABRÉVIATIONS

BIS = index bispectral

CHU = centre hospitalo-universitaire

DGF = débit de gaz frais

eCO<sub>2</sub> = équivalent CO<sub>2</sub>

GIEC = Groupe d'experts intergouvernemental sur l'Evolution du Climat

HCL = Hospices Civils de Lyon

IMC = indice de masse corporelle

iPBT = index de persistance, bioaccumulation et toxicité

PRG = potentiel de réchauffement global

SEGA = système d'évacuation des gaz d'anesthésie

SFAR = Société Française d'Anesthésie Réanimation

SSPI = salle de soins post interventionnelle



## 1) **RÉSUMÉ EN FRANÇAIS**



**Contexte:** L'anesthésie contribue au réchauffement climatique, notamment par l'émission d'hypnotiques halogénés, de puissants gaz à effet de serre. Cette étude a cherché à évaluer l'impact de l'information des équipes d'anesthésie concernant la pollution liées aux hypnotiques sur l'évolution de l'empreinte carbone du CHU de Lyon, où environ 60.000 anesthésies générales sont réalisées chaque année.

**Méthodes:** La campagne d'information écologique a débuté en janvier 2018 par la création de groupes locaux d'anesthésie durable dans quatre hôpitaux des Hospices civils de Lyon ayant un activité chirurgicale: le Groupement Hospitalier Est, l'Hôpital de la Croix-Rousse, l'Hôpital Lyon Sud et l'Hôpital Edouard Herriot. Une information sur l'impact environnemental des hypnotiques a été délivrée auprès des équipes d'anesthésie sur 3 mois en 2019, suivie par l'envoi d'un questionnaire de retour d'information. Dans cette analyse de série chronologique interrompue rétrospective, le nombre de chirurgies réalisées sous anesthésie générale ainsi que les quantités d'hypnotiques utilisés de janvier 2015 à février 2020 ont été recueillis. Le critère de jugement principal était l'empreinte carbone due aux émissions per-opératoires de desflurane et de sévoflurane en équivalent CO<sub>2</sub> à 100 ans (eCO<sub>2</sub><sub>100</sub>). Les critères de jugement secondaires étaient les quantités de propofol utilisées, l'empreinte carbone des émissions de gaz à effet de serre liées aux cycles de vie du propofol et des halogénés, le coût de l'anesthésie dû aux hypnotiques. Les pentes d'évolution de chaque critère de jugement pondéré mensuellement par le nombre d'anesthésies générales ont été comparées avant et après le début des actions d'information, en janvier 2018.

**Résultats:** Durant la période d'étude, le nombre total de chirurgies réalisées sous anesthésie générale a augmenté de 20,5% pour atteindre 63 214 en 2019. Les 180 (28%) réponses aux 641 questionnaires envoyés ont montré que parmi les répondants, 126 (70%) comptaient changer leurs pratiques après cette information, et que 49 (27%) utilisaient déjà les hypnotiques en tenant compte de l'environnement. L'information écologique a été associée à un changement significatif de la pente d'évolution de l'empreinte carbone due aux émissions per opératoires de desflurane et de sévoflurane par anesthésie générale: OR = 0.092, IC95% [0.067; 0.128],  $p < 0.001$ , correspondant à une diminution nette de cette empreinte carbone de 90,2% entre 2015 et 2020 ( $p < 0.001$ ). Elle a également été associée à une baisse de la pente d'évolution des quantités de propofol utilisées ( $p = 0.026$ ) ainsi qu'à une baisse du coût moyen de l'anesthésie liée aux hypnotiques de 3,6€ par anesthésie générale ( $p < 0,001$ ).

**Conclusions:** La prise de conscience écologique a été associée dans notre CHU à une diminution considérable de 90% de l'empreinte carbone des anesthésiques hypnotiques administrés; un résultat encourageant la mise en place d'actions d'information au sein des autres services d'anesthésie afin de permettre une réduction de l'impact environnemental de nos activités professionnelles.



## **2) INTRODUCTION & BIBLIOGRAPHIE**



## 2.1 – POLLUTION ET SYSTÈME DE SANTÉ : DES INFLUENCES RÉCIPROQUES

Selon la définition de 1974 de l'organisation de coopération et de développement économiques (OCDE), la pollution est la destruction ou la dégradation d'un écosystème ou de la biosphère par l'introduction, généralement humaine, d'entités physiques, chimiques ou biologiques, ou de radiations, altérant le fonctionnement de cet écosystème.

L'ère géologique correspondant à l'impact de la pollution humaine sur la planète a été individualisée et caractérisée par le terme d'Anthropocène ou « ère de l'Humain » par Eugène Stoermer, un biologiste (1); terme popularisé dans les années 2000 par Paul Josef Crutzen, prix Nobel de Chimie en 1995. Celle-ci succède à l'Holocène, débute à la fin du XVIIIème siècle avec la naissance de l'ère industrielle et se poursuit jusqu'à nos jours.

Elle est marquée par une augmentation constante des concentrations atmosphériques en gaz à effet de serre (*Fig.1*), qui contribuent au réchauffement climatique par l'absorption et la réflexion de l'énergie solaire atmosphérique. Chaque gaz à effet de serre a un potentiel de réchauffement climatique global (PRG) propre qui dépend non seulement de son forçage radiatif, mais aussi de sa durée de vie dans l'atmosphère.

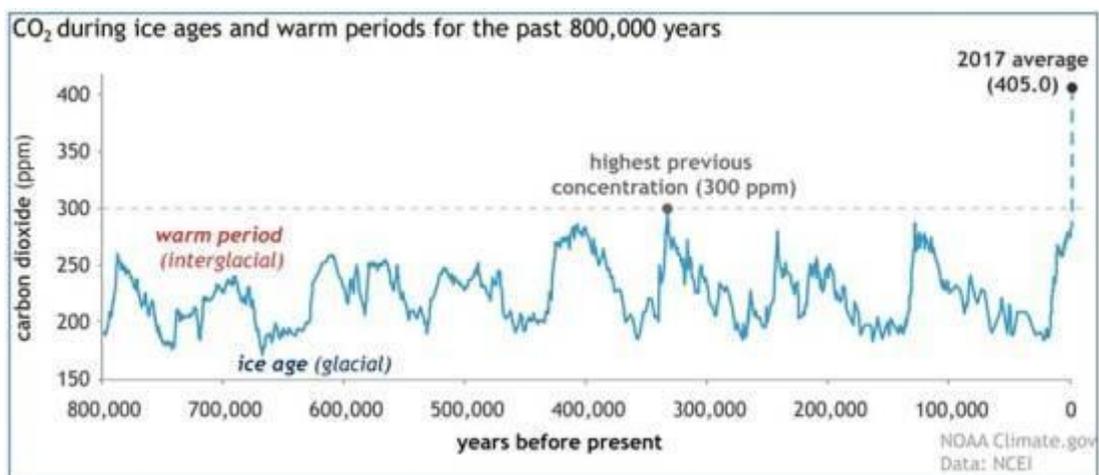


Figure 1: Évolution des concentrations atmosphériques de CO<sub>2</sub>

### 2.1.1. IMPACT DU RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE SUR LA SANTÉ

La cinétique du réchauffement climatique actuel est sans précédent (*Fig. 2*). Il est responsable de la mise en danger de l'intégrité et de l'équilibre des écosystèmes terrestres, avec notamment une nouvelle vague d'extinction d'espèces en cours, par des conséquences désastreuses dont font partie l'acidification des océans, l'augmentation des catastrophes naturelles, ou encore les mouvements de températures extrêmes, pouvant rendre impossible la vie humaine dans certaines régions du globe (*Fig. 3*) (2).

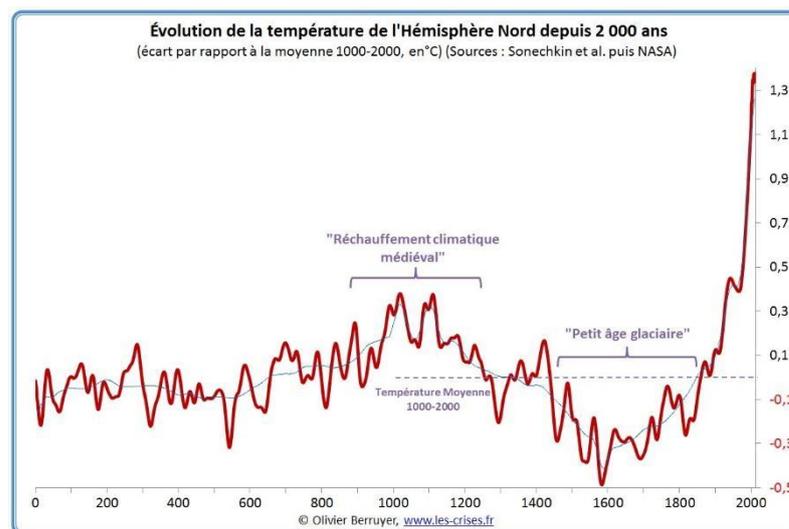


Figure 2: Evolution de la température terrestre depuis 2000 ans

Plus récemment, les enjeux de l'impact grandissant de la pollution et du réchauffement climatique sur la santé humaine ont été mis en lumière, notamment par des rapports aussi complets que passionnants sur les liens entre pollution, réchauffement climatique et épidémiologie, publiés par The Lancet (3,4), mais aussi par l'Organisation Mondiale de la Santé (5).

Par exemple, le nombre de morts prématurées liées à la pollution de l'air par les particules fines dans le monde y est estimé, rien que pour l'année 2015, à 3 millions; dont 2 millions rien que pour le continent asiatique (3).

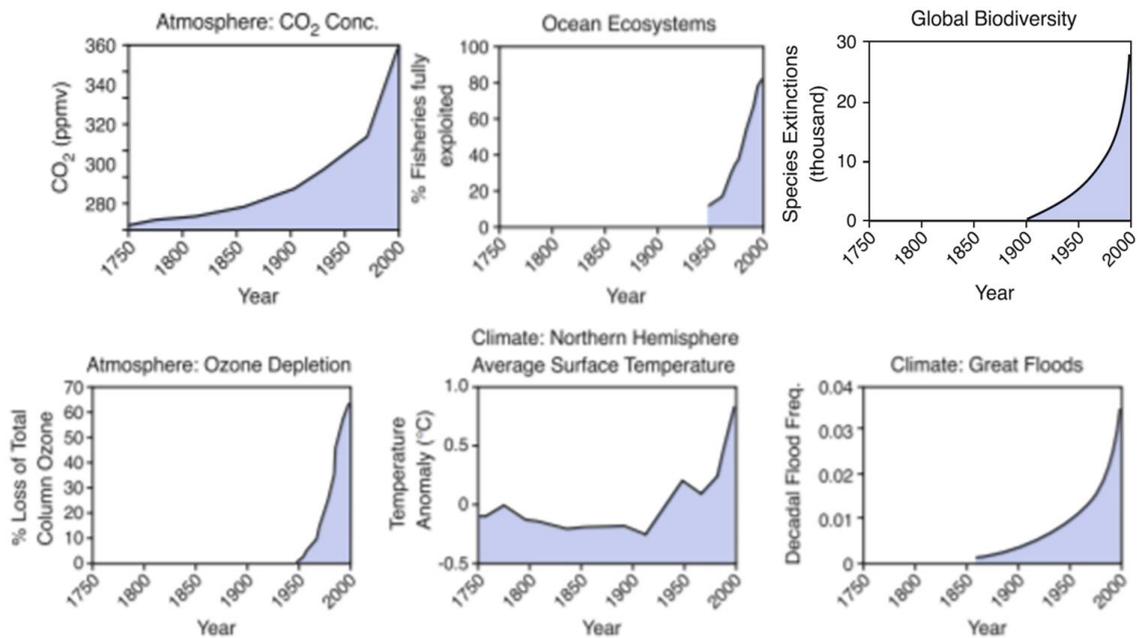


Figure 3: Conséquences de la pollution sur les écosystèmes durant l'anthropocène, Steffen et al, 2015

En effet, en plus d'exposer les populations à des vagues de températures extrêmes et à des catastrophes naturelles entraînant une surmortalité et de nouveaux flux migratoires, ou encore d'altérer les caractéristiques de certaines maladies infectieuses avec des conséquences non négligeables en termes de santé publique, le réchauffement climatique compromet la sécurité alimentaire et l'accès à l'eau potable, ainsi qu'à un air sain et respirable (Fig. 4). Les populations les plus vulnérables des pays sous-développés ou en cours de développement sont particulièrement impactées.

Le réchauffement climatique constitue donc une menace majeure de santé publique à court terme avec pour conséquence une fragilisation de l'ensemble de la société à l'échelle mondiale, et donc des systèmes de santé.

On comprend alors bien pourquoi différents engagements ont été pris à l'échelle autant française qu'internationale afin de limiter l'augmentation de la pollution ainsi que de la température mondiale moyenne par, entre autres, une diminution des émissions de gaz à effet de serre (6,7). On citera par exemple les Accords de Paris, signés en 2015 et ratifiés à ce jour par 183 pays dont la France depuis 2016 (8), nous engageant à maintenir le réchauffement climatique sous le seuil de 2°C par rapport à l'ère préindustrielle.

Force est de constater que la température mondiale moyenne est à ce jour à +1°C de celle de 1800; les résultats depuis la signature de ces accords ne sont donc pas satisfaisants.

À noter que l'élection en novembre 2020 du Président Biden aura permis aux États-Unis de réintégrer ces accords, quittés par son prédécesseur.

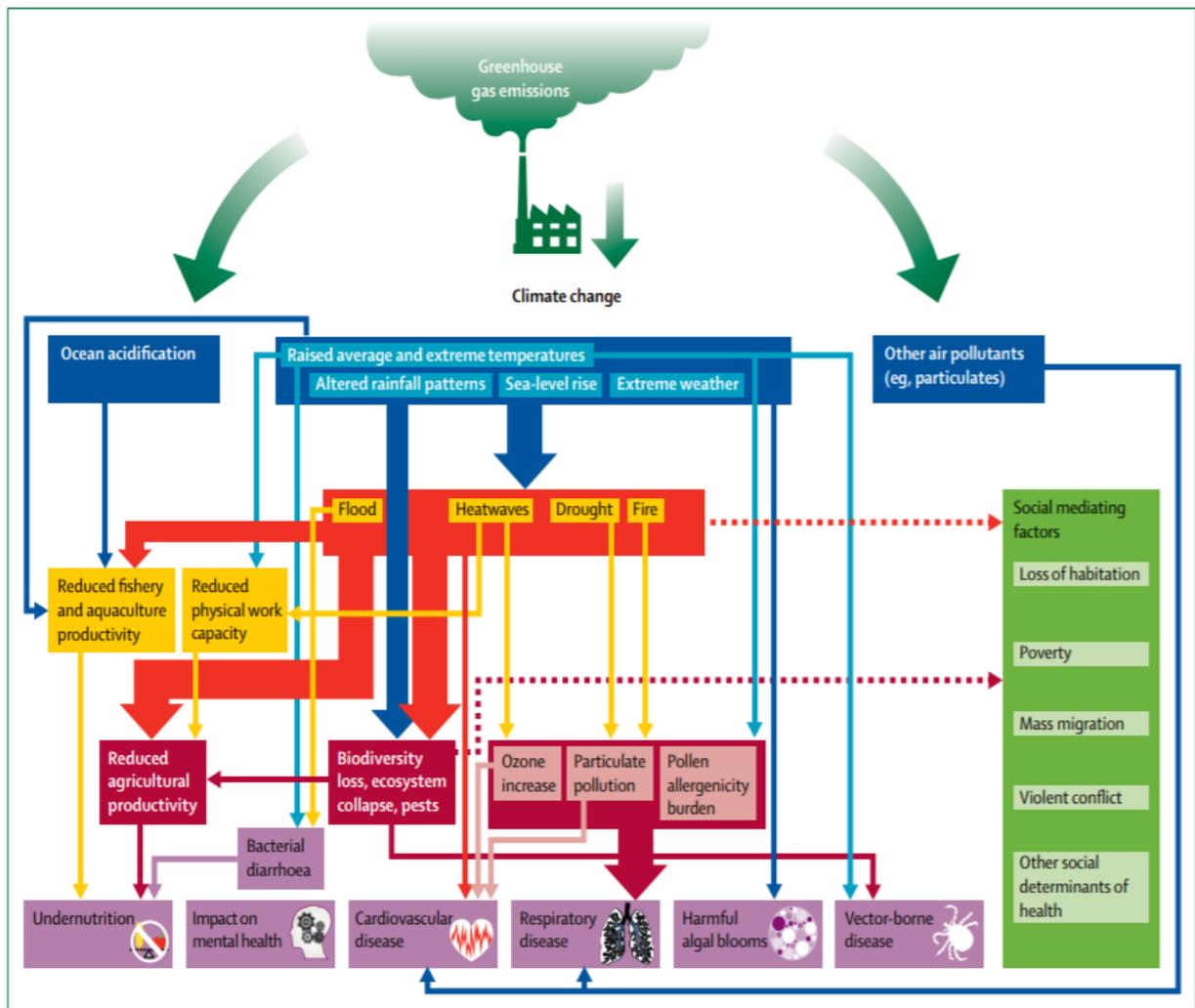


Figure 1: The pathways between climate change and human health

Figure 4: Impact du réchauffement climatique sur la santé (3)

## 2.1.2. IMPACTS DU SYSTÈME DE SANTÉ SUR LE RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE

Le système de santé représente selon les pays 3 à 10% des émissions nationales de gaz à effet de serre (9–11), participant lui-même paradoxalement significativement au réchauffement climatique par bien des aspects. Certaines stratégies ont déjà été décrites afin de tenter de réduire l'impact carbone des hôpitaux (12,13), dont les bâtiments, plus ou moins bien isolés, génèrent une déperdition importante d'énergie; ceux-ci sont également de plus en plus délocalisés, poussant les professionnels de santé à une consommation de transports individuels ou communs eux-mêmes pourvoyeurs d'émissions de gaz à effet de serre. Chaque acte de santé consomme par ailleurs du matériel, dont la

production, le transport, l'utilisation, mais aussi l'élimination ont un impact écologique propre et certain. Certaines études se sont attelées à comparer les impacts écologiques de matériel à usage unique contre réutilisable; les résultats ne sont pas consensuels selon le matériel étudié (14,15). Pour finir, certaines stratégies organisationnelles, que ce soit pour la restauration du personnel, la lingerie hospitalière ou encore la stérilisation du matériel chirurgical, sont choisies pour des raisons d'ordre économique au détriment de leur impact environnemental.

Forts de ces connaissances, les professionnels de santé ont donc une importante responsabilité non seulement d'éducation de la population concernant les problématiques écologiques, mais également d'action à l'échelle aussi bien professionnelle que personnelle. La promotion de la recherche scientifique dans ce domaine semble alors primordiale, dans le but d'une part de mieux comprendre l'implication de la pollution et du réchauffement climatique sur la santé afin d'éveiller les consciences, et d'autre part de diminuer l'impact carbone du système de soins. Cela s'inscrit encore une fois dans la participation aux objectifs de développement durable internationaux et permet ainsi aux professionnels de santé de rejoindre l'effort collectif pour limiter l'augmentation du réchauffement climatique sous un seuil permettant non seulement de limiter les conséquences humaines en termes de santé publique mais aussi aux écosystèmes d'espérer perpétuer un équilibre compatible avec la vie dans un avenir proche.



## 2.2 – IMPACT CARBONE DES ANESTHÉSIIQUES

Jusqu'à deux-tiers de l'empreinte carbone d'une intervention chirurgicale et jusqu'à 98% de son potentiel de déplétion de la couche d'ozone sont liés aux gaz d'anesthésie utilisés, notamment au desflurane et au sévoflurane (16). Ces gaz halogénés sont les principaux hypnotiques inhalés utilisés en France à ce jour et sont des gaz à effet de serre puissants bien connus (17–19), dont la majeure partie est relâchée dans l'atmosphère après qu'ils aient été administrés aux patients et capturés par les systèmes d'évacuation des gaz d'anesthésie (SEGA), si la salle d'intervention en est équipée. L'hypnotique intra-veineux le plus utilisé lors de l'induction et de l'entretien des anesthésies générales aux Hospices civils de Lyon (HCL) est le propofol. Celui-ci présente une pollution mixte, d'une part liée aux émissions de gaz à effet de serre engendrés par son cycle de vie (production, transport, utilisation et élimination), d'autre part liée à la pollution chimique non négligeable dont il est responsable (20–22).

### 2.2.1. DÉFINITION DE L'ÉQUIVALENT CO<sub>2</sub>

L'unité permettant de quantifier l'empreinte carbone due aux émissions de gaz à effet de serre, créée et utilisée par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC) dans les rapports internationaux, est l'équivalent CO<sub>2</sub> (eCO<sub>2</sub>).

Le CO<sub>2</sub> étant le gaz à effet de serre de référence, 1 g de CO<sub>2</sub> émis entraîne une empreinte carbone d'1 g d'eCO<sub>2</sub>, que ce soit à 20 ans (eCO<sub>2</sub><sub>20</sub>) ou à 100 ans (eCO<sub>2</sub><sub>100</sub>).

Chaque gaz à effet de serre a un potentiel de réchauffement global (PRG) propre calculé par rapport au CO<sub>2</sub> et déterminé selon ses propriétés radiatives et sa durée de vie dans l'atmosphère; évoluant dans le temps et donc différent à 20 ans (PRG<sub>20</sub>) et à 100 ans (PRG<sub>100</sub>). Ce PRG<sub>x</sub> représente l'impact du gaz à effet de serre sur le réchauffement climatique x années après son émission, par rapport à celui CO<sub>2</sub>.

Selon la formule consacrée ci-après, on détermine donc la quantité d'eCO<sub>2</sub> à x années engendrée par l'émission d'une quantité donnée d'un gaz à effet de serre à un temps t, reflétant le pouvoir de réchauffement climatique à x années de cette quantité de gaz à effet de serre émise par rapport à celui d'1 g de CO<sub>2</sub>.

$$\text{eCO}_2 \text{ à } x \text{ années (g)} = (\text{g de gaz à effet de serre émis}) \times (\text{PRG à } x \text{ années dudit gaz})$$

### **2.2.2. EMPREINTE CARBONE DU DESFLURANE ET DU SÉVOFLURANE**

Le PRG<sub>100</sub> du desflurane étant 2540, et celui du sévoflurane 130, 1 g de desflurane émis dans l'atmosphère entraîne une empreinte carbone de 2540 g d'eCO<sub>2</sub><sub>100</sub> tandis que 1 g de sévoflurane émis dans l'atmosphère entraîne une empreinte carbone de 130 g d'eCO<sub>2</sub><sub>100</sub> (17,18).

Pour résumer, cela signifie qu'1g de desflurane et de sévoflurane seront respectivement 2540 et 130 fois plus délétères que le CO<sub>2</sub> en termes de réchauffement climatique à 100 ans.

Il a été établi que l'impact carbone d'une anesthésie d'une heure à 1 concentration alvéolaire minimale de desflurane pour un patient de 70 kg équivaut aux émissions de gaz à effet de serre émises par un trajet en voiture d'environ 600km, polluant 20 à 30 fois plus que le sévoflurane (19).

### **2.2.3. LE PROTOXYDE D'AZOTE: UN AUTRE IMPORTANT GAZ À EFFET DE SERRE**

Utiliser du protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O) à la place de l'air en complément de l'administration d'halogénés augmente de manière synergique l'empreinte carbone totale de l'anesthésie, le N<sub>2</sub>O étant lui-même un gaz à effet de serre majeur avec un PRG<sub>100</sub> = 298 (18,19).

### **2.2.4. LE CONCEPT D'EMPREINTE CARBONE DU CYCLE DE VIE D'UNE MOLÉCULE**

Un concept intéressant et global permet d'apprécier l'empreinte carbone totale de la vie d'un matériel ou d'une molécule, quelle qu'en soit la galénique: l'empreinte carbone liée à son cycle de vie.

Il s'agit de l'empreinte carbone due à l'ensemble estimé des émissions de gaz à effet de serre en lien avec chaque étape de son cycle de vie, comprenant sa production, son transport, son utilisation, et son élimination. Cette empreinte carbone s'exprime également en quantité d'eCO<sub>2</sub>.

Celles du desflurane, du sévoflurane et du propofol ont été étudiées par Sherman et al., tenant compte de leur production, de leur transport vers le centre hospitalier mais aussi des émissions de gaz à effet de serre engendrées par leur utilisation, et de leur élimination (22).

Celle du propofol comprend, par exemple, les émissions de gaz à effet de serre induites par l'utilisation des seringues et du pousse seringue électrique.

L'empreinte carbone liée au cycle de vie du desflurane reste alors toujours largement supérieure à celle du sévoflurane, elle-même très largement supérieure à celle du propofol.

Il est également important de souligner que la majeure partie des émissions de gaz à effet de serre des cycles de vie des halogénés est due aux émissions per opératoires de ces gaz (22).

Toujours d'après la modélisation proposée par Sherman et al., on a pu estimer les empreintes carbone liées aux cycles de vie de chaque mL d'hypnotique d'intérêt utilisé. L'utilisation d'1 mL de desflurane correspond à une empreinte carbone d'environ 5300 g d'eCO<sub>2</sub><sub>100</sub>, celle d'1 mL de sévoflurane à environ 330 g d'eCO<sub>2</sub><sub>100</sub> et celle d'1mL de propofol 10 mg/mL à 10 g d'eCO<sub>2</sub><sub>100</sub>.

Une limite de l'évaluation de l'empreinte carbone des émissions liées au cycle de vie d'une molécule reste qu'elle ne tient pas compte de la pollution chimique engendrée par les molécules intraveineuses une fois libérées dans les écosystèmes, évaluée elle par l'index de persistance, de bioaccumulation et de toxicité (iPBT) décrit ci-dessous.

### **2.2.5. POLLUTION CHIMIQUE : L'INDEX DE PERSISTANCE, DE BIOACCUMULATION ET DE TOXICITÉ (iPBT)**

Les molécules pharmaceutiques, notamment intra-veineuses, sont à l'origine d'une pollution chimique lors de leur élimination, que ce soit dans les déchets, dans les eaux usées ou après métabolisation, dans les urines ou dans les fèces. L'iPBT permet d'appréhender cette pollution chimique environnementale. Il va de 0 à 9; 9 étant le plus nocif envers l'environnement (21). Celui du propofol est estimé selon les sources entre 6 et 9 (20,21). Cela nous pousse donc d'autant plus à limiter son gaspillage, lequel est retrouvé massif et évitable dans la littérature (20,23).

### **2.2.6. IMPACT ÉCOLOGIQUE DU PROPOFOL**

Concernant le propofol, il est donc impossible d'évaluer son impact écologique global de manière uniforme. En effet, la pollution dont il est à l'origine est liée non seulement aux émissions de gaz à effet de serre dues à son cycle de vie, que l'on peut décrire en quantités d'eCO<sub>2</sub>, mais également à la pollution chimique qu'il engendre, qui elle ne peut être appréhendée que d'après son index PBT. Ces deux types de pollution ne peuvent être ni cumulés, ni comparés.



## **2.3 - LEVIERS D'ACTION VERS UNE ANESTHÉSIE DURABLE**

L'anesthésie, par différents biais, est donc pourvoyeuse d'une pollution non négligeable, que nous devons de minimiser au maximum (12,13,24–27).

### **2.3.1. CHOIX ET UTILISATION RÉFLÉCHIS DE L'HYPNOTIQUE**

#### **Desflurane versus sévoflurane**

La littérature actuelle ne donne aucun intérêt supplémentaire au desflurane par rapport au sévoflurane.

Les cas dans le contexte duquel cette affirmation pourrait être discutée résident dans les chirurgies prolongées chez l'obèse morbide, avec pour seul argument appuyé par la littérature un délai d'extubation diminué de quelques minutes par rapport aux anesthésies sous sévoflurane, -3,88 minutes selon la méta-analyse de Liu et al en 2015 (28,29). Cependant, la seule étude randomisée contrôlée effectuée avec une titration de la profondeur de l'anesthésie par un BIS en per-opératoire incluse dans cette méta-analyse ne retrouve, elle, pas de différence significative de délai d'extubation entre desflurane et sévoflurane dans cette population (30). Toujours chez les obèses morbides, les méta-analyses ne retrouvent pas de différence sur des critères cliniques plus durs comme le délai de sortie de la SSPI entre desflurane et sévoflurane (29), et l'ensemble de la littérature ne permet pas de conclure non plus à une supériorité du desflurane par rapport au sévoflurane sur des critères de récupération ou d'évènements respiratoires plus tardifs qu'après la sortie de la SSPI, puisqu'ils n'ont pas été étudiés.

Une étude randomisée bien menée, effectuée chez des patients aux divers indices de masse corporelle (IMC) et opérés d'une arthroscopie de genou, ne retrouvait pas de différence de récupération entre desflurane et sévoflurane sur des critères d'évaluation de récupération très larges autant physiques, douloureux ou encore cognitifs, et ce jusqu'à 3 mois post-opératoires étudiés (31).

Aucune des études s'étant attelée à l'évaluation de l'incidence de dysfonctions cognitives post-opératoires chez les patients âgés (65 ans et plus) ne retrouvait de différence significative entre desflurane et sévoflurane (32).

L'ensemble de ces études ne retrouvait également pas de différence en termes de stabilité hémodynamique peropératoire entre les deux molécules, quels que soient l'âge ou l'IMC de la population étudiée.

Cependant, une étude randomisée bien conduite publiée en 2020 dans *Anesthesia & Analgesia* retrouvait une pression artérielle moyenne plus basse sous desflurane que sous sévoflurane chez des patients ASA 1 ou 2, tous IMC confondus, opérés d'une arthroscopie de genou (33).

Face aux données de la littérature, et compte tenu d'une empreinte carbone du desflurane 20 fois plus élevée à 100 ans que celle du sévoflurane, il est donc licite de suggérer l'utilisation préférentielle du sévoflurane par rapport au desflurane dans la quasi totalité des situations cliniques, afin de diminuer l'impact carbone de notre profession.

### **Le protoxyde d'azote**

Le protoxyde d'azote, un hypnotique synergique anti-hyperalgésique ancien et bien connu, également très polluant puisque son PRG<sub>100</sub> est égal à 298, devrait également être réservé à des situations cliniques choisies. Une récente méta-analyse met en avant le fait que ses effets indésirables ont récemment été exagérés et que ses propriétés anti-hyperalgésiques et analgésiques, avec notamment une efficacité sur les douleurs chroniques dans certaines sous-populations de patients restant à préciser, mais aussi antidépressives, en font une molécule dont la place est probablement à reconsidérer, sans pour autant abandonner son utilisation (34,35).

### **Les hypnotiques intraveineux**

Concernant les drogues intra-veineuses, limiter leur préparation à l'avance dans les blocs opératoires a montré un bénéfice en termes de diminution du gaspillage et de réduction des coûts (36).

Comme décrit dans le chapitre précédent, il est impossible de quantifier précisément la pollution totale du propofol, qui pollue de manière chimique en plus d'avoir une empreinte carbone liée à l'ensemble de son cycle de vie. Il n'est donc pas possible de comparer l'impact carbone des gaz halogénés et du propofol, car même si la comparaison de leurs émissions de gaz à effet de serre liées aux cycles de vie montre que celui d'1 mL de propofol 10mg /mL (10 g d'eCO<sub>2</sub>) reste très inférieure à celui des halogénés (5300 g d'eCO<sub>2</sub><sub>100</sub>/mL de desflurane et 330 g d'eCO<sub>2</sub><sub>100</sub> /mL de sévoflurane), la pollution chimique liée au propofol n'est pas prise en compte.

Nous pouvons donc suggérer, comme décrit dans la littérature, une diminution du gaspillage du propofol lorsque cette molécule hypnotique est choisie par l'anesthésiste (20,23), ainsi que l'utilisation d'un monitoring tel que l'indice bispectral afin de non seulement réaliser une anesthésie adaptée au patient, mais aussi de réduire l'utilisation de propofol et donc son impact environnemental (37).

Les impacts environnementaux des autres hypnotiques, largement moins couramment utilisés au CHU de Lyon notamment dans le cadre de l'anesthésie programmée et dont l'utilisation se borne à l'induction anesthésique et non à son entretien, tels que la kétamine, l'étomidate, ou encore le thiopental, n'ont pas été étudiés à ce jour (21).

### **2.3.2. DIMINUER LE DÉBIT DE GAZ FRAIS**

De nombreuses études sur le sujet ont montré qu'il était réalisable, sécuritaire et efficace en termes d'économies autant financières qu'écologiques d'utiliser un faible débit de gaz frais (DGF) lors de l'induction de l'anesthésie (38,39), mais aussi lors de son entretien, avec une baisse de celui-ci possible jusqu'à 0,5 L/ mn (40–43).

L'étude de Pauchard et al., parue en 2020 dans *Anaesthesia, Critical Care and Pain Medicine*, a évalué l'effet en termes de changement de pratiques et d'impact environnemental d'une information concernant la possibilité de baisser le DGF jusqu'à 0,5 L/mn auprès de leurs équipes d'anesthésie (43).

Après l'information, le DGF était significativement plus bas (1,1 +/- 0,8 L/mn versus 1,7 +/- 1,6 L/mn,  $p < 0,001$ ), avec un DGF  $< 1$  L/mn dans 46% des cas contre 35% des cas avant l'information ( $p = 0,006$ ).

Ces modifications de pratiques étaient associées à une diminution de consommation du desflurane et du sévoflurane de 36% et 23%, respectivement.

L'économie écologique correspondante réalisée suite à leur information était de 4,6 kg d'eCO<sub>2</sub>100 par anesthésie générale (43).

L'ensemble de ces données nous permet d'affirmer qu'utiliser un faible DGF, abaissé jusqu'à 0,5 L/mn lors de l'entretien de l'anesthésie générale, est un moyen efficace pour diminuer la note autant écologique qu'économique de l'anesthésie, tout en restant sécuritaire pour les patients.



## 2.4 – RATIONNEL DE L'ÉTUDE

Dans un contexte plus global de prise de conscience écologique mondiale, les problématiques environnementales se sont progressivement immiscées dans le champ de l'anesthésie en France, depuis notamment la création du groupe de développement durable de la Société Française d'Anesthésie Réanimation (SFAR) en 2016.

En adéquation avec cette action nationale, des groupes locaux d'anesthésie durable ont été créés en 2018 dans chaque groupement hospitalier du centre hospitalo-universitaire (CHU) de Lyon, permettant la mise en place d'actions et de réflexions tournées vers la réduction de l'impact écologique de l'anesthésie.

L'impact écologique de notre profession, dont celle des hypnotiques détaillé ci-avant, a donc été présenté aux équipes d'anesthésie dans les différents groupements hospitaliers de notre CHU au fil d'initiatives locales appuyées sur les données de la littérature.

En 2019, nous avons entrepris de mener une campagne d'information spécifique auprès de l'ensemble des équipes d'anesthésie du CHU de Lyon, centrée sur l'impact carbone des hypnotiques courants et s'appuyant sur les données de la littérature (13,17,18,18,20,22,23,36,41,42,44–46), afin, d'une part d'uniformiser les connaissances à ce sujet, de partager les moyens de diminuer notre impact carbone professionnel, et, d'autre part, d'avoir un retour d'expérience sur l'information écologique entreprise au sein de nos établissements depuis 2018.

Cependant, l'efficacité de ces initiatives sur l'impact carbone des hypnotiques restait incertaine. En 2019, Zuegge et al. ont rapporté l'efficacité de la formation multidisciplinaire continue des professionnels sur la réduction de l'utilisation du desflurane. Cette formation, sous la forme de réunions d'information et de débats et discussions avec les équipes, associés à la mise en place d'un étiquetage sur les vaporisateurs d'anesthésie élaboré avec un dessinateur de sorte à produire un impact émotionnel en plus de l'information donnée, a conduit à une réduction de 64% de l'empreinte carbone due aux halogénés par anesthésie générale (47). Dans cette étude, seules les émissions liées aux halogénés étaient évaluées.

Nous avons donc conduit une étude visant à évaluer l'impact de la mise en place des groupes locaux d'anesthésie durable dans nos établissements et d'une information écologique menée auprès des équipes d'anesthésie du CHU de Lyon portant spécifiquement sur l'empreinte carbone des

hypnotiques, sur l'évolution de l'empreinte carbone des émissions per-opératoires des anesthésiques inhalés.

Nous avons également évalué l'impact de cette information sur l'évolution de l'utilisation du propofol, le propofol étant l'hypnotique intraveineux le plus utilisé en France mais hautement polluant pour les cours d'eau et les sols.

Enfin, nous avons évalué l'évolution des empreintes carbonées des émissions de gaz à effet de serre liées aux cycles de vie des quantités de desflurane, de sévoflurane et de propofol utilisées, ce qui nous a permis de considérer le propofol dans les analyses de l'empreinte carbone des émissions de gaz à effet de serre des hypnotiques utilisés.

Pour finir, l'évolution du coût de l'anesthésie lié aux quantités utilisées de desflurane, de sévoflurane et de propofol a également été évalué afin d'estimer l'impact économique d'un changement potentiel dans les pratiques anesthésiques concernant le choix de l'agent hypnotique.

### 3) ARTICLE

***Effectiveness of information of professionals  
on the evolution of the carbon footprint of inhaled anesthetics  
in a French multisite university hospital from 2015 to 2020***

Coralie CHAMBRIN, Sander de SOUZA, Claire GARIEL (MD), Dominique Chassard (MD, PhD), Lionel BOUVET (MD, PhD)



## 3.1 – ABSTRACT

### ***Background:***

Anesthesia contributes to global warming, in particular through the emission of anesthetic gases with a potent greenhouse effect. We aimed to evaluate the impact of environmental awareness-raising about hypnotics-related pollution for anesthesia teams on the carbon footprint of general anesthetics in four university hospitals in Lyon, France, where about 60 000 general anesthetics are administered every year.

### ***Methods:***

An environmental information campaign started in January 2018 in four university hospitals of Lyon, with the setting up of local sustainable anesthesia groups. It included presentations focusing on the environmental impact of hypnotic drugs, delivered over three months in 2019. Then, a feedback questionnaire was sent to all anesthesia providers with a reminder of the presentation, to record pre-existing interest in the topic and willingness to change practices.

In this retrospective interrupted time-series analysis, the number of surgeries performed under general anesthesia and the quantities of hypnotic drugs used were collected for each month of the period between January 2015 and February 2020 in the four hospitals of our institution.

The primary endpoint of this study was the carbon footprint of peroperative emissions of desflurane and sevoflurane expressed as carbon dioxide equivalents over 100 years (CDE<sub>100</sub>). The secondary endpoints were the amount of propofol used, the carbon footprints of propofol, desflurane, and sevoflurane over their lifetimes, and the hypnotics-related cost of general anesthetics in the studied hospitals.

For each endpoint, the slopes of the regression lines as a function of time, weighted by the monthly number of general anesthetics, were compared before and after the beginning of the information campaign, in January 2018.

### ***Results:***

During the study period, the overall number of surgical procedures under general anesthesia increased by 20.5%, to 63 124 in 2019. The 180 (28%) responses to the 641 feedback questionnaires sent showed that 126 (70%) respondents wanted to change their current practices as a result of this information, while 49 (27%) declared using already hypnotics regarding their environmental impact. The provision of environmental information was associated with a significant decrease in the slope of the carbon footprint of peroperative emissions of desflurane and sevoflurane : OR = 0.092, IC95% [0.067; 0.128],  $p < 0.001$ ; corresponding to a net decrease of 90.2% between 2015 and 2020. It was also associated with a decrease in the trend of the slope of propofol use ( $p = 0.026$ ) and with a decrease in the mean cost in hypnotics by 3.6 € per general anesthetic during the study period ( $p < 0.001$ ).

***Conclusions:*** Environmental awareness raising was associated in our hospital network with a considerable 90% reduction in the carbon footprint of administered anesthetic hypnotics, a decrease that should encourage every anesthesia department to implement this type of information campaign to reduce their greenhouse gas emissions.



## **3.2 - GLOSSARY OF TERMS**

CDE<sub>100</sub>: Carbon dioxide equivalents over 100 years

GWP<sub>100</sub>: Global warming potential over 100 years

OR: Odds Ratio

PBTi: Persistence, bioaccumulation, and toxicity index

SFAR: the French Society of Anesthesia & Intensive Care Medicine



### 3.3 - INTRODUCTION

Healthcare accounts for 3-10% of countries' carbon dioxide equivalent emissions,<sup>1-3</sup> contributing to the threat of climate change. The energy use of hospitals, the volumes of waste they produce, and the pollution and the transportation emissions of individual patients and healthcare professionals are all considerable. Anesthetic gases are a less obvious source of pollution in healthcare, but they nonetheless account for up to two thirds of the greenhouse gas emissions during surgery and 98% of their ozone depletion potential.<sup>4</sup>

The two halogenated gases used in our institution, desflurane and sevoflurane, are well known to have a high global warming potential,<sup>5-7</sup> their non-metabolized part being released into the atmosphere after being administered to patients.

Desflurane has a global warming potential about 20 times higher than sevoflurane and it has been estimated that anesthetizing a 70kg patient for 1 h with the former is as polluting as the carbon dioxide emissions of a 600 km car journey.<sup>5,7</sup>

Using N<sub>2</sub>O rather than air with these gases further increases the carbon footprint of the procedure.<sup>5</sup> Propofol is the most widely used intravenous hypnotic drug in France,<sup>8</sup> used as much for the induction of anesthesia as for its maintenance. It is highly toxic in aquatic and terrestrial ecosystems.<sup>9,10</sup>

Pollution related to etomidate, ketamine or thiopental has not been evaluated so far and these drugs, used only for the induction of anesthesia, are rarely used in our operating rooms.

Various simple measures to minimize anesthetics related pollution have already been proposed, such as considering environmental impact when choosing drugs,<sup>11,12</sup> not preparing intravenous drugs in advance,<sup>13</sup> not wasting drugs such as propofol when this can readily be avoided,<sup>9,14</sup> and lowering gas flows to 0.5 l/min whenever possible.<sup>15-17</sup>

Environmental questions have gradually emerged in the field of anesthesia in France since the creation of the Sustainable Development Group of the French Society of Anesthesia & Intensive Care Medicine (SFAR).

In line with nationally coordinated initiatives, local sustainable anesthesia groups were set up in 2018 in the four hospitals of our institution in Lyon to consider the environmental impact of anesthesia and implement mitigation measures.

In 2019, a specific information campaign was organized for anesthesia teams in each of these four hospitals on the carbon footprint of inhaled halogenated anesthetics.

We hypothesized that environmental information would have led to a decrease in carbon footprint of hypnotics-related carbon footprint.

Nevertheless, the effectiveness of such initiatives on carbon footprint related to hypnotic drugs remains uncertain. Results published by Zuegge and al.<sup>18</sup> in 2019 and Pauchard an al.<sup>19</sup> in 2020 suggest that information campaigns about the environmental impact of hypnotics and the environmental benefits of decreasing fresh gas flow, respectively, could lead to significant environmental improvements, but these authors did not assess the impact of these campaigns on propofol, which also participate to pollution and global warming.

This retrospective study therefore aimed to assess whether the environmental information provided to anesthesia teams in our institution since 2018 has been associated with a decrease in the carbon footprint related to inhaled hypnotic drugs. We also assessed the overall carbon footprints of desflurane, sevoflurane and propofol due to their life-cycle greenhouse gas emissions during production, transport, use, and disposal. The costs of anesthesia with desflurane, sevoflurane and propofol were also evaluated to assess the potential economic impact of these changes in anesthetic practice.

## 3.4 - METHODS

This manuscript adheres to the applicable TREND guidelines.

This was a retrospective interrupted time series analysis from January 2015 to February 2020 of the anesthesia-related carbon footprint of four hospitals in Lyon, France, including about 90 000 surgical procedures per year under the supervision of about 300 anesthesiologists and residents, and about 300 nurses. Ethical committee approval was not required for this study since no patient data were used.

### **Intervention:**

Information on sustainable anesthesia practices were given to the anesthesia teams of each of the studied hospitals from 2018 onward through the setting up of sustainable anesthesia groups.

A further information campaign was conducted from May to July 2019 to raise anesthesia providers' awareness about the environmental impact of hypnotic drugs and suggest mitigation strategies based on literature data, namely carefully choosing hypnotic drugs, using the lowest possible fresh gas flows and reducing waste.<sup>5-7,9,12,16,20-23</sup>

Regarding this further information campaign, all anesthesia providers in the four hospitals were informed by email about the times and locations of different oral presentations on environmental best practice in anesthesiology. The oral presentations (Appendix 1) took place in the operating rooms of the different hospitals.

After each oral presentation, an email was sent to all anesthesia providers with a PDF copy of the information provided during the meeting and a link to a feedback questionnaire on their pre-existing interest in the topic and their willingness to change their current practices. They were invited to read the presentation before answering the questionnaire.

The presentation and link to the questionnaire were also published on the Facebook page of the local anesthesia groups, and two email reminders were sent between May and July 2019. The questionnaire remained available until October 2019.

### **Data collection:**

The attendance rates at the meetings and the responses to the questionnaire were recorded and analyzed.

The amounts of desflurane, sevoflurane and propofol used from January 2015 to February 2020 were extracted from the monthly product order databases managed by the pharmacists of each hospital.

The quantities of desflurane and sevoflurane used were reported in mL, and the amounts of propofol, in grams. Quantities of ketamine and etomidate used were also recorded.

Since some of the drugs ordered in a given month are not used in that same month, we considered three-month averages of the amounts ordered, using the orders for the preceding, current and following months for each drug. Each endpoint was weighted by the monthly number of procedures performed under general anesthesia, obtained from electronic medical record systems used in our institution (Cristal Net software, and Easily software, Hospices Civils de Lyon, Lyon, France).

### **Endpoints:**

The primary endpoint was the change in the estimated carbon footprint of desflurane- and sevoflurane-related peroperative emissions, expressed as carbon dioxide equivalents over 100 years (CDE<sub>100</sub>, in grams).

Briefly, CDE<sub>100</sub> represents the impact of a quantity of greenhouse gas emitted into the atmosphere as a multiple of the impact on global warming over 100 years of the same mass of CO<sub>2</sub>. It depends on the global warming potential at 100 years (GWP<sub>100</sub>) of the gas, a constant that depends on the heat capacity of the gas and its atmospheric lifetime. By convention, the GWP<sub>100</sub> of CO<sub>2</sub> is 1.

$$\text{CDE}_{100} \text{ (g)} = \text{emitted greenhouse gas (g)} \times \text{GWP}_{100}$$

The CDE<sub>100</sub> values of 1 g of desflurane and sevoflurane emitted into the atmosphere are respectively 2540 g and 130 g;<sup>7</sup> in other words, they are 2540 and 130 more potent than CO<sub>2</sub> in inducing global warming over 100 years.

To compare the carbon footprints of desflurane, sevoflurane and propofol consumed each month, we calculated the corresponding life-cycle greenhouse gas emissions, due to production, transport, use and disposal. Based on the modeling from the study of Sherman et al., we determined that the life-cycle greenhouse gas emissions carbon footprint of 1 mL of desflurane, sevoflurane and 10 mg/mL propofol are about 5300 g, 330 g and 10 g of CDE<sub>100</sub>, respectively.<sup>20</sup>

We also calculated the costs of the quantities of desflurane, sevoflurane and propofol used during the study period, using a single price for each compound, the one at the time of the analysis.

The physicochemical properties and prices of desflurane, sevoflurane and propofol are presented in Supplemental Table 1.

Supplemental Table 1: physicochemical properties and price of desflurane, sevoflurane, and propofol					
	GWP <sub>100</sub> <sup>7</sup>	PBTi <sup>9,10</sup>	Physicochemical properties	Life-cycle GHG emissions/mL (CDE100 in g) <sup>20</sup>	Price
Desflurane	2540	-	1,47g/mL	5275	81€ / 240mL
Sevoflurane	130	-	1,52g/mL	329	73€ / 250mL
Propofol (10mg/mL)	-	6-9 /9		10	1000mg/50mL 3,85€, 500mg/50mL 1,7€ 200mg/20mL 0,6€
GWP <sub>100</sub> : global warming potential at 100 years PBTi: persistence, bioaccumulation and toxicity index GHG: greenhouse gas					

The value considered for each endpoint was the change in the slope of each curve between period A, before the intervention, and period B, after the intervention.

### Statistical analyses:

After a Shapiro-Wilk's W test for normality of distribution of the data, continuous data were expressed either as median (interquartile range) or as mean (standard deviation), and compared using either Wilcoxon signed-rank test or paired t-test, as appropriate. Incidence data were expressed as number (percentage) and compared using Fisher's exact test or  $\chi^2$  test, as appropriate.  $P < 0.05$  was significant.

The interrupted time series data from January 2015 to February 2020 were analyzed by segmented regression,<sup>24,25</sup> within two periods: before (period A) and after (period B) the first environmental intervention, namely the establishment of the first local sustainable anesthesia group in January 2018.

The R 4.0 language powered by RStudio 1.1 was used to process the data and create the figures.

The regression formula was  $Y = \beta_0 \times T_0 + \beta_1 \times T_1$ , with Y, the season-adjusted data (reference period: 12 months);  $T_0$ , the total time (months) elapsed since January 2015;  $T_1$ , the time (months) elapsed since the intervention; and  $\beta_0$  and  $\beta_1$ , the corresponding linear regression coefficients.

The null hypothesis was that the intervention had no effect, *i.e.*  $\beta_1 = 0$ . The threshold for statistical significance was set at  $< 0.05$ : the change from period A to period B was considered statistically significant if the  $\beta_1$  coefficient was non-zero (with a less than 5% risk). The odds ratios (ORs) were calculated thanks to the  $\beta_1$  coefficient and its calculated variance  $s_{\beta_1}$ .



### 3.5 - RESULTS

One oral presentation was organized in 2019 in each of the six different operating rooms of the four studied hospitals. In total, 19% of anesthesia providers (121/641) attended these meetings, with 53 anesthetic nurses, 38 anesthesiologists and 30 anesthesiology residents.

#### Feedback questionnaires (Figure 1):

641 questionnaires were sent to 310 anesthesiologists and 331 anesthetic nurses. The overall response rate was 28% (180/641 individuals). Among the 180 respondents, 49 (27%) said they were already considering the environmental impacts of their choice of hypnotics, while 131 (73%) declared that they had learned something new through the presentation.

Among the latter, 126 (96%) declared that they would change their practices and use hypnotics in a more environmentally friendly way. Only 5 (4%) declared that they would not, among which 2 were anesthetic nurses who reported that they were not decision-makers, 2 that greener practice was useless, dangerous or non-beneficial to patients, and 1 stated that the information provided was insufficient to change their practice.

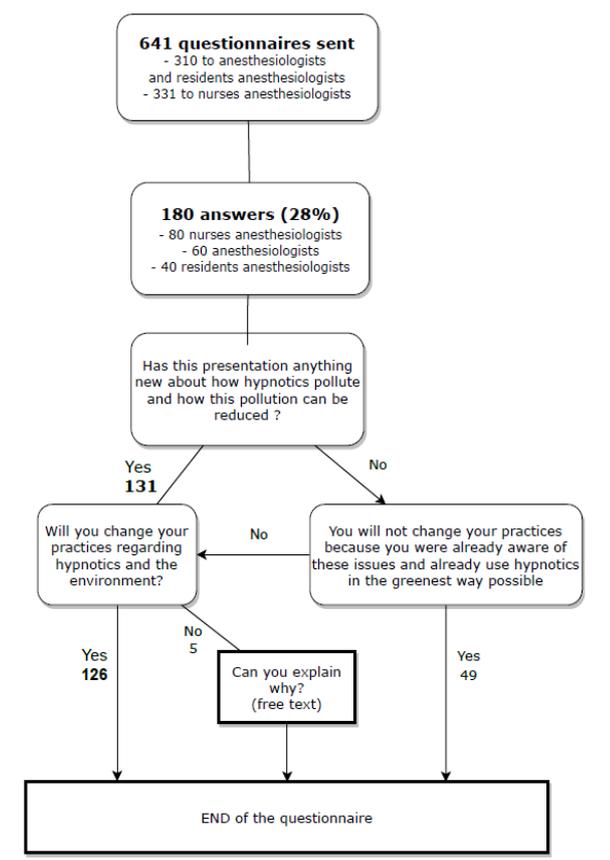
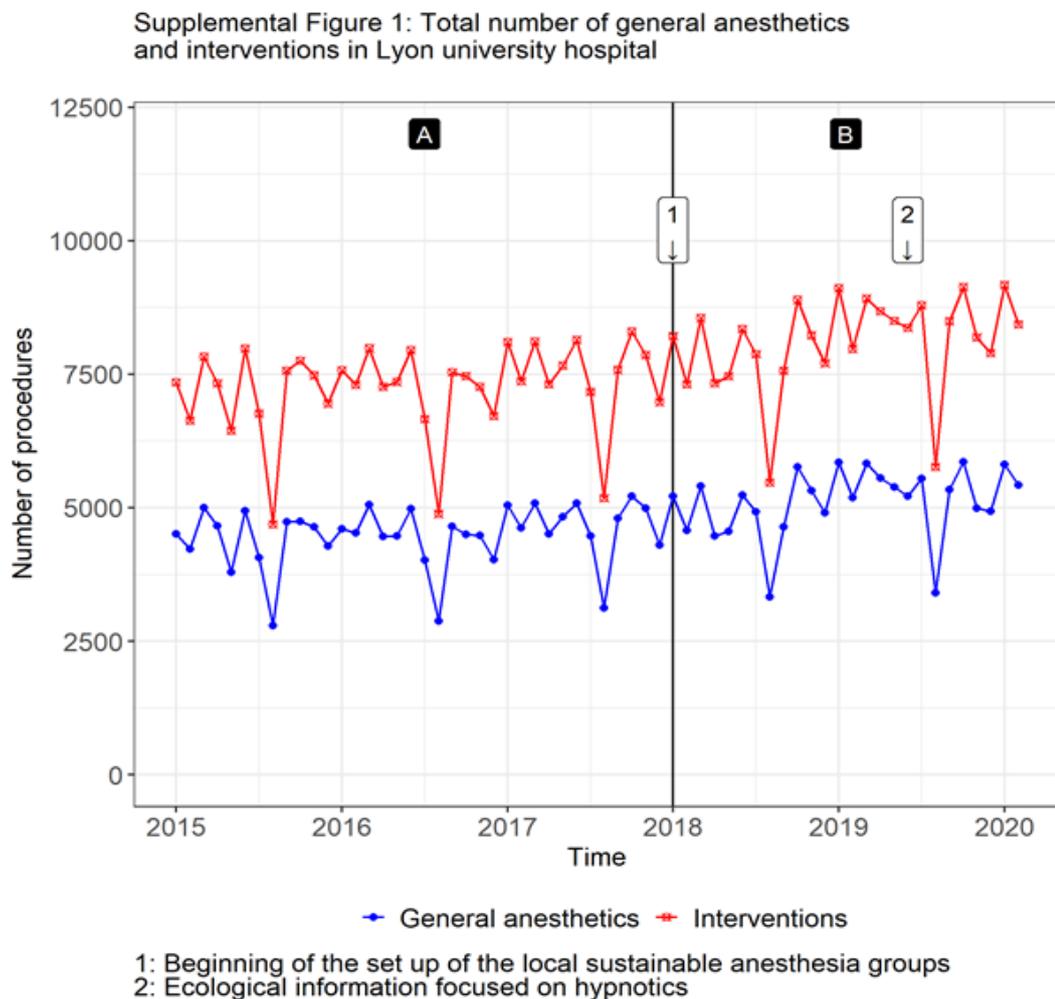


Figure 1: flowchart of the responses to the questionnaire after the information campaign

### Evolution of the surgical activity:

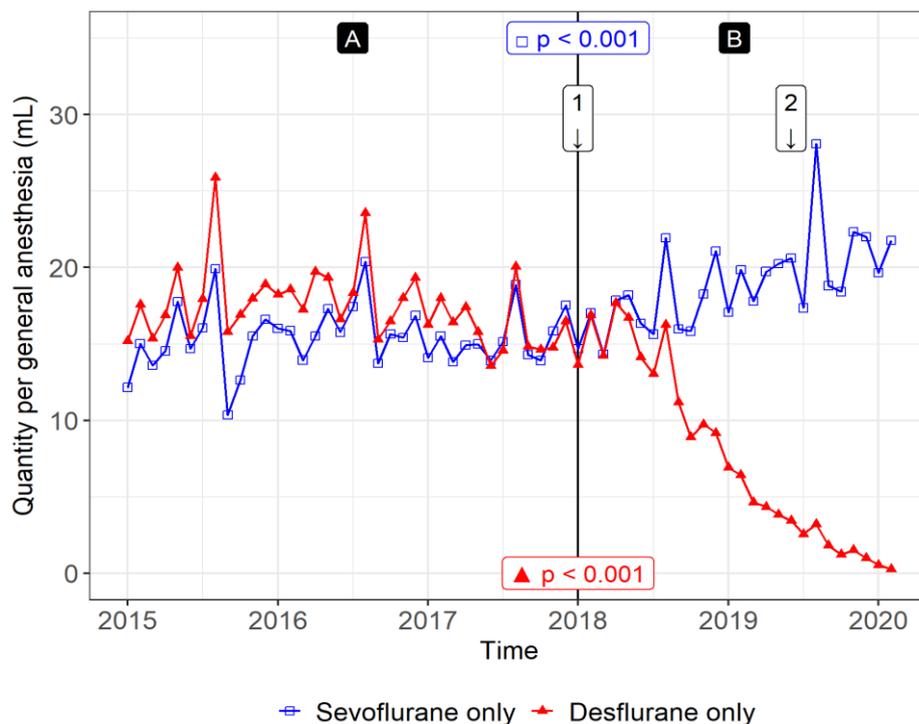
Between January 2015 and February 2020, the number of surgical procedures under general anesthesia increased by 20.5% with 52 380 procedures (4365 per month) in 2015, 52 650 (4387 per month) in 2016, 56 094 (4674 per month) in 2017, 58 335 (4861 per month) in 2018, 63 124 (5260 per month) in 2019, and up to an average of 5626 per month for the two first months of 2020 (*Supplemental Figure 1*).



### Interrupted time series analysis:

The environmental information campaign was associated with a significant decrease in the trend of the slope of desflurane use between periods A and B: OR = 0.522, IC95% [0.479; 0.570],  $p < 0.001$ ; and with a significant increase in the trend of the slope of sevoflurane use between periods A and B: OR = 1.243, IC95% [1.171; 1.319],  $p < 0.001$  (Figure 2). Between the first half of 2015 and the last three months of the data collection period, the median volume of desflurane used per general anesthetic significantly decreased, from 16.5 (15.2-18.1) ml to 0.6 (0.3-0.8) ml,  $p < 0.001$ , while that of sevoflurane significantly increased, from 14.7 (13.4-15.7) ml to 20.6 (19.5-21.8) ml,  $p < 0.001$ . There was no change in the quantities of ketamine, thiopental and etomidate used.

Figure 2. Desflurane and sevoflurane use quantities per general anesthesia in Lyon university hospital

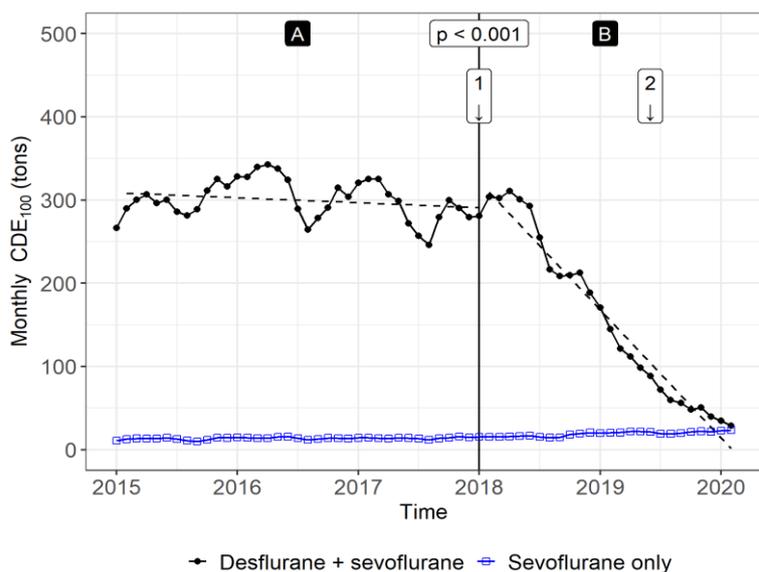


The provision of environmental information was associated with a significant decrease in the trend of the slope of the carbon footprint of peroperative halogenated emissions between periods A and B: OR =  $8.037 \times 10^{-6}$ , IC95% [ $2.446 \times 10^{-6}$ ;  $2.640 \times 10^{-5}$ ],  $p < 0.001$  for the total carbon footprint (Figures 3-A), and OR = 0.092, IC95% [0.067; 0.128],  $p < 0.001$  for the carbon footprint per general anesthetic (Figure 3-B).

The overall carbon footprint related to peroperative emissions of inhaled hypnotic drugs decreased by 89,3% from 282,4 tons of CDE<sub>100</sub> per month in the first half of 2015 to an average of 30,3 tons per month over the last three months of the data collection period;  $p < 0.001$  (Figure 3-A).

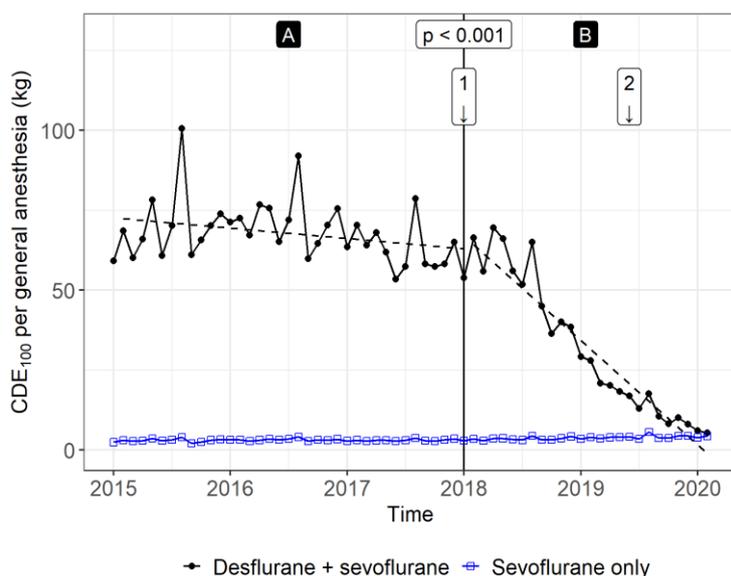
Weighted by surgical activity, the carbon footprint of peroperative inhaled anesthetics emissions decreased by 90.2% over the same period: from 66.2 kg of CDE<sub>100</sub> to 6.5 kg of CDE<sub>100</sub> per general anesthetic;  $p < 0.001$  (Figure 3-B).

Figure 3A. Total carbon footprint of desflurane and sevoflurane peroperative emissions in Lyon university hospital



1: Beginning of the set up of the local sustainable anesthesia groups  
 2: Ecological information focused on hypnotics  
 CDE<sub>100</sub>: Carbon dioxide equivalents over 100 years

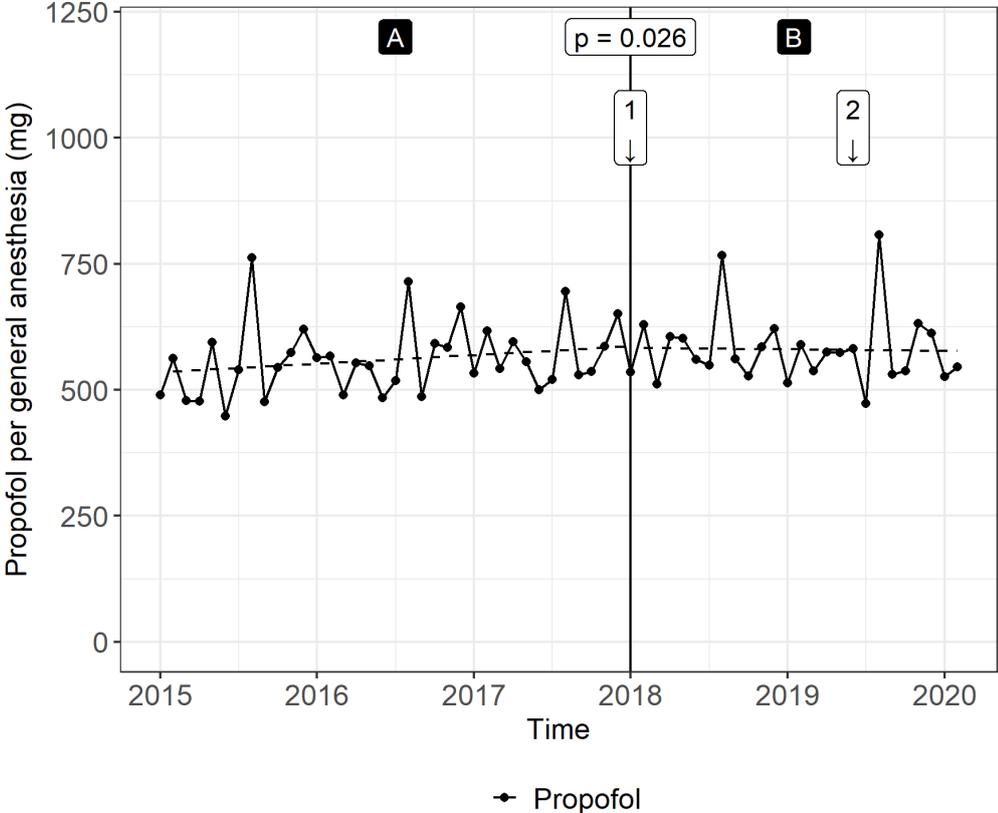
Figure 3B. Carbon footprint of desflurane and sevoflurane peroperative emissions per general anesthetic in Lyon university hospital



1: Beginning of the set up of the local sustainable anesthesia groups  
 2: Ecological information focused on hypnotics  
 CDE<sub>100</sub>: Carbon dioxide equivalents over 100 years

This was also associated with a significant inflection of the trend of the slope of the propofol use between periods A and B: OR = 0.148, IC95% [0.028; 0.766], p = 0.026 (Figure 4). The amount of propofol used per general anesthetic did not significantly change between the first half of 2015 and the last three months of the data collection period: it was 0.51 (0.48-0.53) g per general anesthetic during the first half of 2015 and 0.57 (0.55-0.59) g per general anesthetic during the last six months of the data collection period, p = 0.063.

Figure 4. Propofol use quantities per general anesthetic in Lyon university hospital

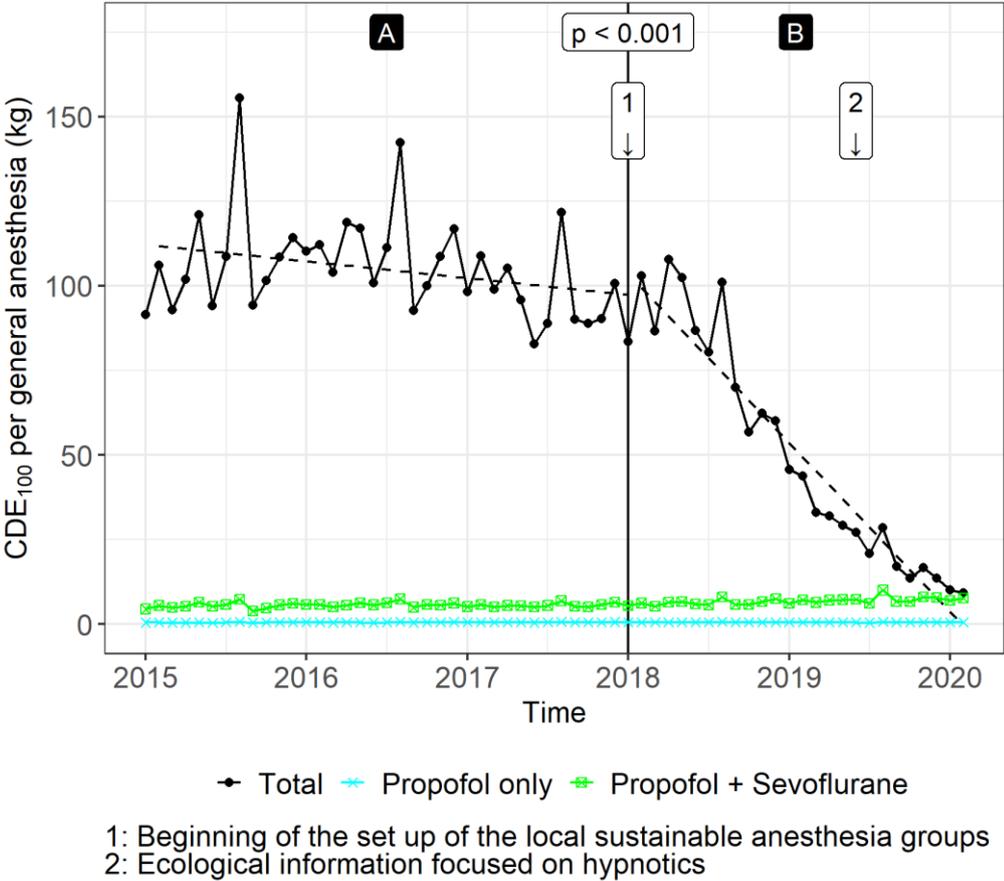


1: Beginning of the set up of the local sustainable anesthesia groups  
 2: Ecological information focused on hypnotics

There was a significant decrease in the trend of the slope of the monthly carbon footprint of the life-cycle greenhouse gas emissions of the quantities of desflurane, sevoflurane and propofol use between periods A and B: OR = 0.026, IC95% [0.016; 0.043],  $p < 0.001$  (Figure 5). The overall decrease in this carbon footprint was 89.2%, from 102.4 kg of CDE<sub>100</sub> per general anesthetic in the first half of 2015 to 11 kg of CDE<sub>100</sub> per general anesthetic during the last three months of the data collection period, with 94.7% of these emissions due to desflurane in the first half of 2015, down to an average of 29.8% in the last three months of the data collection period.

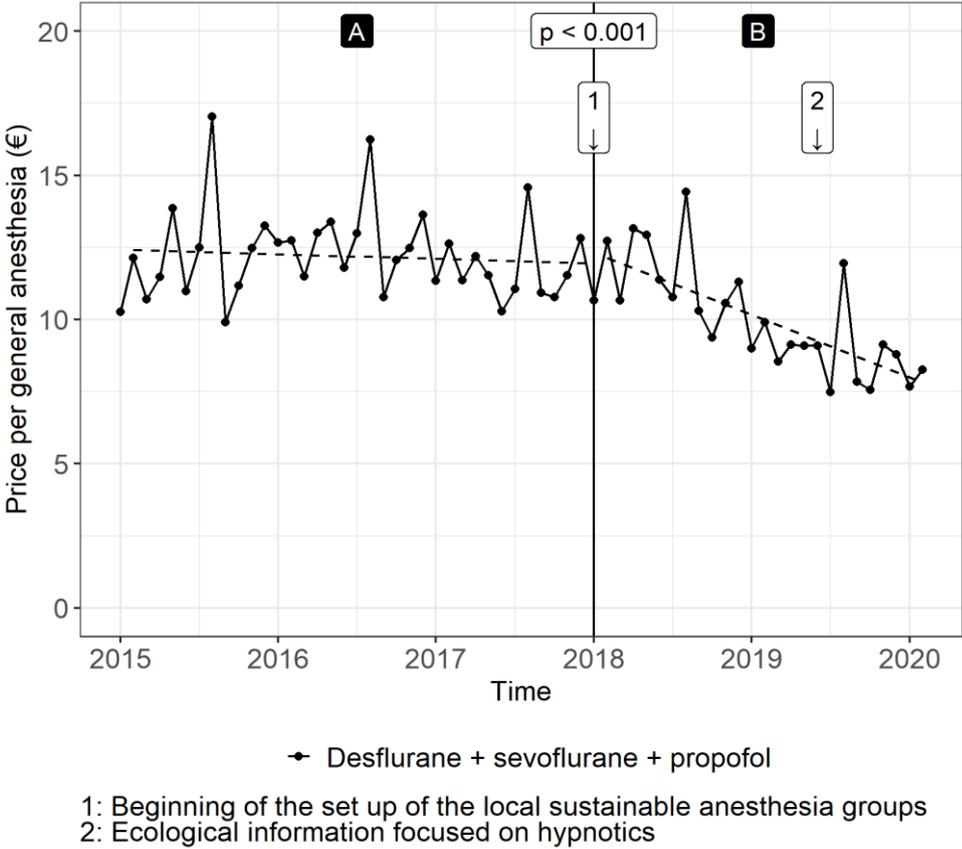
The life-cycle greenhouse gas emissions associated with propofol use remained negligible throughout the study period (Figure 5).

Figure 5. Carbon footprint of desflurane, sevoflurane and propofol life-cycle greenhouse gases emissions per general anesthetic in Lyon university hospital



The overall cost per general anesthetic of the amounts of desflurane, sevoflurane and propofol used decreased significantly by 3.6 € per general anesthetic over the study period, from 11.8€ in the first half of 2015 to an average of 8.2€ over the last three months of the data collection period,  $p = 0.031$ ; with a significant change in the corresponding trend curve between periods A and B:  $OR = 0.850$ ,  $IC95\% [0.818 ; 0.884]$ ,  $p < 0.001$  (Figure 6). This corresponds to an overall saving for the Lyon hospital trust of about 228 k€ per year based on the number of procedures performed in 2019 (63 124 general anesthetics).

Figure 6. Anesthesia cost due to desflurane, sevoflurane and propofol use per general anesthetic in Lyon university hospital





## 3.6 - DISCUSSION

The main result of this study was that the provision of environmental information campaign was associated with a > 90% decrease of the total and per-general anesthetic carbon footprint of inhaled hypnotic drugs emissions in our hospitals. That dramatic carbon footprint reductions per general anesthetic of 59.7 kg CDE<sub>100</sub>, the equivalent of a 237 km drive in an average passenger vehicle,<sup>26</sup> can be achieved simply by providing environmental information, are therefore important to bear in mind. To our knowledge, this is the first study to show an association between raising environmental awareness about hypnotics among anesthesia providers, and environmentally and economically beneficial changes of practice regarding hypnotic drugs.

### External validity

Our results are in line with those of Zuegge and al.<sup>18</sup> published in the course of our study. The decrease in the carbon footprint reported by these authors (70%) was less substantial than in ours however, and the environmental impact of each procedure at the end of their study, 58 kg of CDE<sub>100</sub> per general anesthetic, was higher than reported here. This may be due to the lower reduction in desflurane use in their study, probably because of the higher proportion of obese patients among those undergoing general anesthesia in their hospital.

### Strengths

A notable feature of our study is that it was performed in four large university hospitals with around 60000 general anesthetics administered per year, under the supervision of about 300 anesthesiologists and anesthesiology residents, and about 300 anesthetic nurses.

The environmental information provided grew with the literature and was disseminated through multiple means of communication.

The campaign was very well received and we observed during the oral presentations that anesthesia providers were not all aware at the time of the environmental impact of hypnotics.

Furthermore, in spite of the low response rate of 28% inherent to this type of survey<sup>27</sup>, the fact that a large majority of respondents to the feedback questionnaire declared that they would change their practices following the campaign because they had learned new information suggests that the information campaign in 2019 and the feedback questionnaire helped to reinforce the environmental information provided since 2018.

The drastic 90% reduction in the carbon footprint of anesthetics we observed coincided mainly with a decrease in desflurane use and an increase in sevoflurane use, as well as an inflection in the pre-

existing trend of propofol use, while the quantities used of other hypnotic drugs did not change significantly.

The fact that the decrease in the use of desflurane was larger than the increase in the amounts of sevoflurane used, can be explained in part by the lower minimal alveolar concentration of the latter (2% versus 6% for desflurane) and probably by a change in practice with the use of lower fresh gas flows, a change that could not be assessed in this study.<sup>19</sup>

Desflurane is not better indicated than sevoflurane. The only indications that remain a possible matter of debate are very long procedures under general anesthesia for morbidly obese or elderly patients and even in these cases, the literature shows no clear clinical benefit in favor of desflurane.<sup>28–32</sup>

Since the liposolubility and muscle/blood and tissue/blood solubility ratios of sevoflurane are slightly higher than those of desflurane,<sup>33</sup> leading to a greater accumulation in the skin, muscles and fat, in particular beyond 2 h of surgery, sevoflurane has to be stopped sooner for the same timing of consciousness recovery, which is a habit to acquire when using sevoflurane.<sup>31</sup>

The environmental information was not associated with an increase in propofol use, such that one form of pollution was not replaced by another. The quantities of ketamine and etomidate used were also stable over the study period.

A further noteworthy point is that this change in practice did not slow the increase in surgical activity over the years despite a stable number of operating rooms. This suggests that using sevoflurane did not prolong operating room stays.

### **Importance in the current context**

Climate warming is a major and urgent concern for humanity. Five years on from the Paris Agreements, in which 182 other countries committed to limit the increase in global temperatures to 2 °C above pre-industrial levels, results are disappointing.

Adhering to these international environmental commitments requires sustainability considerations to be included in medical decisions, alongside standards of care, safety and costs.

### **Limitations**

The first limitation of this study is that data collection had to be interrupted prematurely in February 2020 instead of August 2020, because of the COVID-19 pandemic, as elective and semi-elective procedures were canceled for several months starting in mid-March 2020. Nevertheless, it did not

prevent us from observing a considerable decrease in the carbon footprint of inhaled anesthetics over the study period.

Another limitation was that N<sub>2</sub>O use, in spite of its very important environmental impact, was not analyzed. This was because on the one hand, it was impossible to accurately collect the monthly quantities used because of the storage systems in place, and on the other, because this compound was considered rarely used. Indeed, it ceased to be used completely from June 2018 onwards in one of the four hospitals studied (vaporizers were removed from operating rooms) and a large proportion of anesthesiologists in the local sustainable anesthesia groups declared that they had stopped using N<sub>2</sub>O in adults for several years based its very debatable value in general anesthesia.<sup>34,35</sup> However, data from two of the centers studied allow us to affirm that N<sub>2</sub>O consumption has not increased, and therefore would have either stagnated or decreased.

Finally, the life-cycle emissions data from Sherman et al.,<sup>20</sup> used to estimate carbon footprints, are imprecise because they were calculated for specific operating room practices, and these vary between hospitals, but it remains appropriate and very interesting because the vast majority of this carbon footprint is due to the peroperative emissions of halogenated gases.

## **Perspectives**

The environmental information campaign investigated here has to be continued over time to perpetuate the desired environmental effects.

Further environmentally improving changes to anesthesia practices are worth considering, even if they are not easy to implement.

Recycling halogenated gases using adsorbent membranes is an attractive alternative, but the only commercial device currently available on the market (Deltasorb®, BlueZone Technologies Ltd.) is expensive and difficult to procure, and its own environmental impact has also to be considered.

Xenon, a non-greenhouse anesthetic gas, could be used but it is 10 times more expensive than the currently used halogenated gases and requires a specific ventilator.

Promoting locoregional anesthesia would be another way to limit the use of greenhouse gases; however, local anesthetics are known to have polluting effects in water and soil, and life-cycle emissions of the equipment used (sterile gloves, fields, locoregional sets...) remain to be evaluated.

Finally, hypnosis is an interesting alternative but is not suitable for all patients or types of surgery.

In the future, it may be interesting to develop computer applications to help incorporate environmental and economic consideration in therapeutic decisions, alongside also patient and surgery related criteria.

**In conclusion**, our results show that in four university hospitals of Lyon, ecological awareness campaigns focusing on hypnotics were associated with a significant reduction in the carbon footprint of general anesthesia activity. This should encourage healthcare institutions to assess the carbon footprint of all their procedures and undertake similar actions.

### 3.7 - BIBLIOGRAPHY

1. Chung JW, Meltzer DO. Estimate of the carbon footprint of the US health care sector. *JAMA*. 2009;302(18):1970-1972. doi:10.1001/jama.2009.1610
2. Eckelman MJ, Sherman JD, MacNeill AJ. Life cycle environmental emissions and health damages from the Canadian healthcare system: An economic-environmental-epidemiological analysis. *PLOS Med*. 2018;15(7):e1002623. doi:10.1371/journal.pmed.1002623
3. The carbon footprint of Australian health care - PubMed. Accessed December 17, 2020. <https://pubmed-ncbi-nlm-nih-gov.docelec.univ-lyon1.fr/29615206/>
4. 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(3):1779-1786. doi:10.1021/es504719g
5. Ryan SM, Nielsen CJ. Global warming potential of inhaled anesthetics: application to clinical use. *Anesth Analg*. 2010;111(1):92-98. doi:10.1213/ANE.0b013e3181e058d7
6. Sulbaek Andersen MP, Nielsen OJ, Karpichev B, Wallington TJ, Sander SP. Atmospheric Chemistry of Isoflurane, Desflurane, and Sevoflurane: Kinetics and Mechanisms of Reactions with Chlorine Atoms and OH Radicals and Global Warming Potentials. *J Phys Chem A*. 2012;116(24):5806-5820. doi:10.1021/jp2077598
7. Andersen MPS, Nielsen OJ, Wallington TJ, Karpichev B, Sander SP. Assessing the Impact on Global Climate from General Anesthetic Gases: *Anesth Analg*. 2012;114(5):1081-1085. doi:10.1213/ANE.0b013e31824d6150
8. Masson E. Propofol : pharmacodynamie et utilisation pratique. EM-Consulte. Accessed January 14, 2021. <https://www.em-consulte.com/article/1373175>
9. Mankes RF. Propofol Wastage in Anesthesia: *Anesth Analg*. 2012;114(5):1091-1092. doi:10.1213/ANE.0b013e31824ea491
10. Environmentally Classified Pharmaceuticals 2014-2015. Health Care Without Harm. Published February 18, 2014. Accessed January 9, 2021. <https://noharm-global.org/documents/environmentally-classified-pharmaceuticals-2014-2015>
11. Özelsel TJ-P, Sondekoppam RV, Ip VHY, Tsui BCH. Re-defining the 3R's (reduce, refine, and replace) of sustainability to minimize the environmental impact of inhalational anesthetic agents. *Can J Anesth Can Anesth*. 2019;66(3):249-254. doi:10.1007/s12630-018-01279-3
12. 12. Greening the Operating Room. Accessed December 30, 2020.

- <https://www.asahq.org/about-asa/governance-and-committees/asa-committees/committee-on-equipment-and-facilities/environmental-sustainability/greening-the-operating-room-complete>
13. Atcheson CLH, Spivack J, Williams R, Bryson EO. Preventable drug waste among anesthesia providers: opportunities for efficiency. *J Clin Anesth.* 2016;30:24-32.  
doi:10.1016/j.jclinane.2015.12.005
  14. Kostrubiak M, Vatovec CM, Dupigny-Giroux L-A, Rizzo DM, Paganelli WC, Tsai MH. Water Pollution and Environmental Concerns in Anesthesiology. *J Med Syst.* 2020;44(9):169.  
doi:10.1007/s10916-020-01634-2
  15. Kennedy RR, Hendrickx JF, Feldman JM. There are no dragons: Low-flow anaesthesia with sevoflurane is safe. *Anaesth Intensive Care.* 2019;47(3):223-225.  
doi:10.1177/0310057X19843304
  16. Feldman JM. Managing fresh gas flow to reduce environmental contamination. *Anesth Analg.* 2012;114(5):1093-1101. doi:10.1213/ANE.0b013e31824eee0d
  17. Özelsel T, Kim SH, Rashiq S, Tsui BCH. A closed-circuit anesthesia ventilator facilitates significant reduction in sevoflurane consumption in clinical practice. *Can J Anesth Can Anesth.* 2015;62(12):1348-1349. doi:10.1007/s12630-015-0478-9
  18. Zuegge KL, Bunsen SK, Volz LM, et al. Provider Education and Vaporizer Labeling Lead to Reduced Anesthetic Agent Purchasing With Cost Savings and Reduced Greenhouse Gas Emissions. *Anesth Analg.* 2019;128(6):e97-e99. doi:10.1213/ANE.0000000000003771
  19. Pauchard J-C, Gress G, Biais M, Beloeil H, Nouette-Gaulain K. Reducing the greenhouse gas emissions from halogenated agents in daily clinical practice: An audit at the University Hospital of Bordeaux. *Anaesth Crit Care Pain Med.* 2020;39(5):685-687.  
doi:10.1016/j.accpm.2020.08.005
  20. Sherman J, Le C, Lamers V, Eckelman M. Life cycle greenhouse gas emissions of anesthetic drugs. *Anesth Analg.* 2012;114(5):1086-1090. doi:10.1213/ANE.0b013e31824f6940
  21. Favetta P, Degoute CS, Perdrix JP, Dufresne C, Bouliou R, Guitton J. Propofol metabolites in man following propofol induction and maintenance. *Br J Anaesth.* 2002;88(5):653-658.
  22. Han EJ, Lee DS. Significance of metabolites in the environmental risk assessment of pharmaceuticals consumed by human. *Sci Total Environ.* 2017;592:600-607.  
doi:10.1016/j.scitotenv.2017.03.044
  23. Tollinche L, Tan K, Han A, Ojea L, Yeoh C. Analyzing Volatile Anesthetic Consumption by Auditing Fresh Gas Flow: An Observational Study at an Academic Hospital. *Int J Anesth Anesthesiol.* 2018;5(1). doi:10.23937/2377-4630/1410064
  24. Wagner AK, Soumerai SB, Zhang F, Ross-Degnan D. Segmented regression analysis of

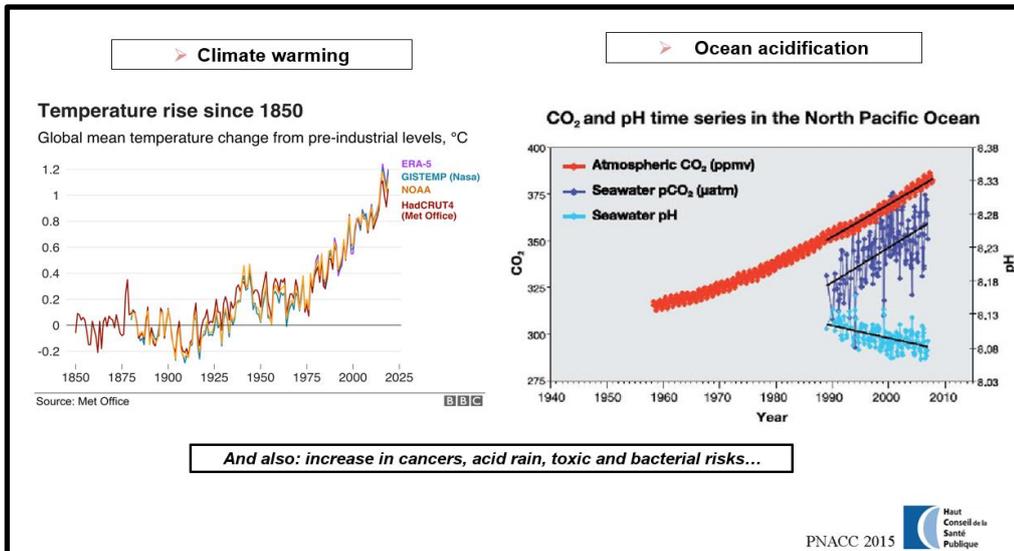
- interrupted time series studies in medication use research. *J Clin Pharm Ther.* 2002;27(4):299-309. doi:<https://doi.org/10.1046/j.1365-2710.2002.00430.x>
25. Bernal JL, Cummins S, Gasparrini A. Interrupted time series regression for the evaluation of public health interventions: a tutorial. *Int J Epidemiol.* 2017;46(1):348-355. doi:10.1093/ije/dyw098
  26. US EPA O. Overview of Climate Change Science. Accessed October 21, 2019. /climate-change-science/overview-climate-change-science
  27. Klabunde CN, Willis GB, McLeod CC, et al. Improving the Quality of Surveys of Physicians and Medical Groups: A Research Agenda. *Eval Health Prof.* 2012;35(4):477-506. doi:10.1177/0163278712458283
  28. Liu F-L, Cherg Y-G, Chen S-Y, et al. Postoperative recovery after anesthesia in morbidly obese patients: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Can J Anaesth J Can Anesth.* 2015;62(8):907-917. doi:10.1007/s12630-015-0405-0
  29. Alalawi R, Yasmeen N. Postoperative Cognitive Dysfunction in the Elderly: A Review Comparing the Effects of Desflurane and Sevoflurane. *J Perianesth Nurs.* 2018;33(5):732-740. doi:10.1016/j.jopan.2017.04.009
  30. Arain SR, Barth CD, Shankar H, Ebert TJ. Choice of volatile anesthetic for the morbidly obese patient: sevoflurane or desflurane. *J Clin Anesth.* 2005;17(6):413-419. doi:10.1016/j.jclinane.2004.12.015
  31. McKay RE, Malhotra A, Cakmakkaya OS, Hall KT, McKay WR, Apfel CC. Effect of increased body mass index and anaesthetic duration on recovery of protective airway reflexes after sevoflurane vs desflurane. *Br J Anaesth.* 2010;104(2):175-182. doi:10.1093/bja/aep374
  32. Boggett S, Ou-Young J, Heiberg J, et al. A randomized trial of desflurane or sevoflurane on postoperative quality of recovery after knee arthroscopy. *PLoS ONE.* 2019;14(8). doi:10.1371/journal.pone.0220733
  33. Esper T, Wehner M, Meinecke C-D, Rueffert H. Blood/Gas partition coefficients for isoflurane, sevoflurane, and desflurane in a clinically relevant patient population. *Anesth Analg.* 2015;120(1):45-50. doi:10.1213/ANE.0000000000000516
  34. Buhre W, Disma N, Hendrickx J, et al. European Society of Anaesthesiology Task Force on Nitrous Oxide: a narrative review of its role in clinical practice. *Br J Anaesth.* 2019;122(5):587-604. doi:10.1016/j.bja.2019.01.023
  35. Zafirova Z, Sheehan C, Hosseinian L. Update on nitrous oxide and its use in anesthesia practice. *Best Pract Res Clin Anaesthesiol.* 2018;32(2):113-123. doi:10.1016/j.bpa.2018.06.003



### 3.8 – APPENDIX : THE SLIDESHOW OF THE ENVIRONMENTAL INFORMATION FOCUSING ON HYPNOTICS IN 2019

**Sustainable anesthesia**  
Why / When / How?

 Coralie CHAMBRIN  
Anesthesia—intensive care *intern*.





**When must we act?**







- 2011: **Kyoto protocol (191 countries)**: divide our greenhouse gas (GHG) emissions by 4 before 2020

- 2015: **COP 21**: limit climate warming to 2°C until 2100

**Until now, FAILURE**

→ French global GHG emissions: 372 megatons per year (1990) → 733 megatons per year (2014)

→ Forecast: +3.2°C by 2100 (UNEP)

**NOW**

UNEP = United Nations Environment Program



## IN OPERATING ROOMS

✓ Health care = POLLUTION +++ WE MUST BECOME AGENTS OF CHANGE  
 → 1 MAJOR line of action = REDUCE GHG EMISSIONS

Halogenated gases = 10-15% of the total warming effect of all GHGs on earth  
 N2O = 5%

	20/100-year global warming potential (GWP <sub>20</sub> / GWP <sub>100</sub> ) With GWP of CO <sub>2</sub> = 1	Atmospheric lifetime (years)	20-year Carbon dioxide equivalent (CDE <sub>20</sub> ) For 1MAC-hour anaesthesia FGF 1-2L/mn	Which is equivalent to a car journey of
Desflurane + N2O 60%	3714 / 2540	14	187 kg 75kg	380-756 km
Sevoflurane	350 / 130	1.4	*27 7 kg 41kg	32-65 km
N2O	280 / 310	114		

$$CDE_{x\text{ years}}(g) = \text{emitted GHG}(g) * GWP_{x\text{ years}}$$

Ryan SM, Nielsen CJ. Global warming potential of inhaled anaesthetics: application to clinical use. *Anesth Analg*. juill 2010;111(1):92-8  
 IPCC – United Nations Climate Change, GHG = greenhouse gas

## IN OPERATING ROOMS

Focus on N2O

Table 4: Arguments for and against use of N<sub>2</sub>O

Pros	Cons
Rapid wash-in and wash-out Shortens the induction time Reduction in opioid/anaesthetic agent requirement	High initial uptake and minimal uptake in later phases make flow control adjustments more complicated <u>Ozone depleting potential and 'green-house effect'</u> Increased incidence of post-operative nausea, vomiting Increases gaseous distension of bowels, cavities and closed spaces Effects like immunosuppression, bone marrow suppression

Upadya M, Saneesh PJ. Low-flow anaesthesia - underused mode towards « sustainable anaesthesia ». *Indian J Anaesth. mars 2018;62(3):166-72*

## IN OPERATING ROOMS

Focus on « low flow anaesthesia »

Turn down fresh gas flow (FGF) as much as possible!

Security, savings, **environment**

FGF category	FGF
Medium flow	1-2 L/min
Low flow	500-1000 ml/min
Minimal flow	250-500 ml/min
Metabolic flow	About 250 ml/min

Less greenhouse gases released into the atmosphere  
 Turn off FGF while intubating  
 Flush ventilator circuit with high FGF once an hour  
 At the end of the operation, do not open the circuit before turning off halogenated vaporizer

Upadya M, Saneesh PJ. Low-flow anaesthesia - underused mode towards « sustainable anaesthesia ». *Indian J Anaesth. mars 2018;62(3):166-72*

## IN OPERATING ROOMS

### ❑ WASTE = EXTRA COSTS

peroperative drug waste: 10€/general anesthetic (GA), 9M GA/yr → 90 000 000 €/yr!

### ❑ WASTE = POLLUTION: PERSISTANCE, BIOACCUMULATION, TOXICITY (PBT index)

Drug	P	B	T	PBT
Propofol	3	3	3	9
Succinylcholine	?	?	?	?
Atracurium	2	0	0	2
Fentanyl	3	3	2	8
Morphine	?	?	?	?
Metoprolol	3	0	1	4
Labetalol	3	0	3	6
Lidocaine	3	0	0	3
Ketorolac	3	0	1	4
Midazolam	3	0	2	5
Ondansetron	3	0	3	6

### ACT!

- ❖ **Do not prepare «just in case»**
- ❖ **Pre-filled syringes** (atropine, ephedrine, propofol...)
  - Waste: -57% for ephedrine / -95% for celocurine and phenylephrine
- ❖ **↓ anesthetic drug consumption as much as possible**
  - stop wasting, patient-specific anesthesia, monitoring (TOF, BIS)
- ❖ **Consider alternatives:** locoregional anesthesia (PBT?), hypnosis

Greening the Operating Room and Perioperative Arena: Environmental Sustainability for Anesthesia Practice

## IN CONCLUSION, IN OPERATING ROOMS

### ✓ RECYCLING and SAVING, DO THE SAME AS AT HOME

### ✓ CHOOSING THE RIGHT MOLECULE MATTERS Most polluting gases: is there a medical justification?

### ✓ LOWEST POSSIBLE FGF

= less greenhouse gases released into the atmosphere  
In the future, recycling anesthetic gases?

### ✓ BUT PROPOFOL POLLUTES TOO

... hard to compare because it is not a GHG but affects groundwater

### ✓ PROMOTE LRA, HYPNOSIS.... Worth considering!

## Bibliography

### ❖ Global impact: desflurane > N2O > sevoflurane, propofol, LRA, hypnosis...

- Sulbaek Andersen MP, Nielsen OJ, Wallington TJ, Karpichev B. Assessing the impact on global climate from general anesthetic gases. *Anesth Analg* 2012;114
- Ryan SM, Nielsen CJ. Global warming potential of inhaled anesthetics: Application to clinical use. *Anesth Analg* 2010;111: 92–8
- Sulbaek Andersen M, Sander S, Nielsen O, Wagner D & al. Inhalation anaesthetics and climate change. *Br J Anaesth* 2010;105:760–6
- Sulbaek Andersen MP, Nielsen OJ & al. Atmospheric Chemistry of Isoflurane, Desflurane, and Sevoflurane *J Phys Chem A*. December 6, 2011
- Sherman J, Le C, Lamers V, Eckelman M. Life cycle greenhouse gas emissions of anesthetic drugs. *Anesth Analg* 2012;114
- Favetta P, Degoutte CS, Perdrix JP & al. Propofol metabolites in man following propofol induction and maintenance. *Br J Anaesth*. mai 2002;88(5):653-8.
- Salerno J & al.. Long- Term Detection of Propofol Glucuronide in Urine (...) with Propofol. *Pharmacol Amp Pharm*. 2013;04(07):528-34.
- Han EJ & al. Significance of metabolites in the environmental risk assessment of pharmaceuticals consumed by human. *Sci Total Environ*. août 2017;592:600-7

### ❖ Reducing fresh gas flow:

- Tollinche & al. Analyzing Volatile Anesthetic Consumption by Auditing Fresh Gas Flow: An Observational Study at an Academic Hospital, *Int J Anesth Feldman JM*. Managing fresh gas flow to reduce environmental contamination. *Anesth Analg* 2012;114:1093–101
- Karim HMR, Keshwani M & al. NO in waste anesthetic gases with different fresh gas flow: a case-based pilot observation and a practical thought on scavenging. *Madhusudan Upadya, PJ Saneesh &al. Low-flow anaesthesia – underused mode towards “sustainable anaesthesia”*, *IJA* 2018

Greening the ORs & the perioperative arena: American Society of Anesthesiologists' environmental sustainability for anesthesia practice

Guide pratique Développement durable au bloc opératoire

Guide 2015 des pratiques vertueuses en développement durable des établissements sanitaires et médico sociaux

rapport PNACC 2015





## 4) DISCUSSION



Le résultat principal de cette étude est l'association entre l'information écologique mise en place au sein du CHU de Lyon début 2018 et le changement de pente significatif de l'évolution de l'empreinte carbone des émissions per-opératoires de desflurane et de sévoflurane par anesthésie générale réalisée, celle-ci ayant baissé de plus de 90% entre 2015 et 2020.

Cela correspond à une économie environnementale totale de 59,7 kg d'eCO<sub>2</sub><sub>100</sub> par anesthésie générale suite aux changements de pratiques anesthésiques concernant le choix et la façon d'utiliser les hypnotiques courants lors des anesthésies générales dans nos structures ; de manière encore plus pragmatique, cela correspond à une économie environnementale égale aux émissions de gaz à effet de serre de 237 km parcourus en voiture et ce, par anesthésie générale réalisée (54).



## 4.1 - VALIDITÉ EXTERNE

Nos résultats sont comparables à ceux de l'étude publiée par Zuegge et al. en 2019 (47), dans laquelle ils atteignaient grâce à une campagne d'information ciblée sur les hypnotiques une diminution 64 % de leur empreinte carbone initiale, avec une empreinte carbone finale de 58kg d'eCO<sub>2</sub><sub>100</sub> par anesthésie générale, contre 6,5 kg d'eCO<sub>2</sub><sub>100</sub> par anesthésie générale atteints dans notre étude à la fin de la période de recueil des données. Malgré une approche plus légère et moins incitative que celle de Zuegge et al., ne comprenant par exemple pas l'étiquetage des vaporisateurs d'anesthésie, nos résultats semblent plus efficaces.

Cela pourrait s'expliquer de plusieurs façons. En effet, il est possible que l'approche culturelle soit différente avec un intérêt pour les problématiques écologiques majorées en France par rapport aux États-Unis, et encore plus spécifiquement à Lyon, qui a connu des épisodes caniculaires à répétition depuis 2015 contrairement à Madison, Wisconsin, où leur étude a été réalisée (48). D'autre part, leur période d'étude précédait les accords de Paris, signés en 2015, lesquels ont pu potentialiser la sensibilisation écologique de notre étude. Pour finir, la prévalence de l'obésité aux États-Unis est bien plus élevée qu'en France (49), avec une réduction donc potentiellement freinée de l'utilisation du desflurane compte tenu des vertus lui étant prêtées dans les prises en charge anesthésiques des obèses morbides.



## 4.2 - POINTS FORTS

La spécificité de notre étude est d'avoir été réalisée dans un hôpital universitaire à haut volume d'activité, avec environ 60.000 anesthésies générales réalisées par an, réparties sur 4 hôpitaux différents, sous la supervision de 300 anesthésistes-réanimateurs et internes en anesthésie-réanimation, et de 331 infirmier(e)s anesthésistes.

L'information écologique, basée sur les données de la littérature, a été prolongée dans le temps et diffusée par divers moyens de communication.

Elle a été très bien accueillie, et nous avons constaté lors des présentations orales en 2019 l'utilité de notre démarche puisque tous les professionnels d'anesthésie n'étaient pas conscients des problèmes écologiques liés aux hypnotiques.

Le taux de réponse faible au questionnaire de retour d'information (28%), inhérent à ce genre d'enquête par mail (50), nous permet entre autres de contextualiser ces résultats, puisqu'un grand nombre de répondants (70 %) a déclaré penser effectuer un changement de pratiques suite à cette campagne d'information, après avoir appris de nouvelles données sur le sujet. Nous pouvons donc suggérer que la campagne d'information de 2019, diffusée par mails ainsi que par les réseaux sociaux, accompagnée de ce questionnaire donnant la place aux commentaires libres, a contribué à renforcer l'information écologique entreprise au sein des blocs opératoires des HCL depuis début 2018 de manière efficace auprès des équipes d'anesthésie, avec un effet de rémanence.

La réduction drastique de 90% de l'empreinte carbone liée à l'utilisation des anesthésiques courants que nous avons observée a clairement coïncidé avec une diminution des quantités de desflurane utilisées et une augmentation de celles de sévoflurane. La baisse plus marquée de l'utilisation de desflurane que de l'augmentation de celle du sévoflurane peut en partie s'expliquer simplement par leur concentration alvéolaire minimale respectivement de 6% et 2% ainsi que par une probable baisse des débits de gaz frais utilisés suite à la campagne d'information, ce qui n'a pu être analysé dans cette étude.

Le desflurane n'a pas plus d'indication médicale prouvée que le sévoflurane. Il semble persister un doute dans la littérature concernant son intérêt chez les personnes obèses morbides ou très âgées et fragiles, pour une anesthésie prolongée (28,29,32), mais hormis un délai d'extubation plus court de 3,88 minutes avec le desflurane qu'avec le sévoflurane retrouvé chez les obèses morbides (29), aucun autre avantage du desflurane sur le sévoflurane, notamment sur des critères cliniques durs, et quelle que soit la population, n'a été retrouvé.

Les solubilités sanguine et dans la graisse du sévoflurane sont un peu plus élevées que celles du desflurane, conditionnant une accumulation graisseuse théoriquement plus marquée en particulier après 120 mn de chirurgie (51). La pharmacocinétique et la pharmacodynamie de ces molécules explique pourquoi le sévoflurane doit être arrêté plus tôt lors de la chirurgie pour un même délai de réveil, ce qui est une habitude à prendre lors de l'utilisation du sévoflurane (28).

Dans notre étude, l'information n'a pas été associée à une augmentation de la quantité de propofol utilisée par anesthésie générale, de telle manière que l'on montre bien que l'information environnementale n'a pas engendré, en contrepartie de la baisse de l'empreinte carbone due aux émissions de gaz à effet de serre halogénés, d'augmentation de la pollution chimique liée au propofol.

Au contraire, l'information a même été associée à une diminution de la pente de l'utilisation du propofol. Afin d'expliquer cela, on peut émettre l'hypothèse que le gaspillage de cette molécule a été diminué suite à l'information.

Les quantités de kétamine, de thiopental et d'étomidate utilisées n'ont pas augmenté après la campagne d'information écologique.

Un point majeur de cette étude réside dans le fait que nos résultats ne sont pas liés à une diminution de l'activité. Les changements de pratiques consécutifs à la campagne d'information environnementale ont même eu lieu en parallèle d'une augmentation de l'activité chirurgicale constante au fil des ans dans notre CHU. L'utilisation du sévoflurane préférentiellement au desflurane ne semble donc pas allonger la durée d'occupation des salles d'opération. On peut donc diminuer les émissions de gaz à effet de serre des blocs opératoires d'un CHU de plus de 90% tout en augmentant leur activité chirurgicale.

### **4.3 - IMPORTANCE DANS LE CONTEXTE ACTUEL**

Le réchauffement climatique est une préoccupation majeure et urgente pour l'humanité. Pour le 5<sup>ème</sup> anniversaire de la signature des Accord de Paris, dans lequel nous nous sommes engagés comme 182 autres pays à maintenir l'augmentation de la température moyenne mondiale en dessous de 2 °C par rapport aux niveaux préindustriels dans les années à venir, les résultats sont décevants.

Pour respecter ces engagements internationaux, nous devons continuellement penser à l'impact environnemental de notre pratique professionnelle, tout en maintenant une qualité de soins élevée, sécuritaire, centrée sur le patient, et réfléchie, autant en termes écologiques qu'économiques.

Les résultats de cette étude, montrant qu'une réduction drastique de 59,7 kg d'eCO<sub>2</sub> par anesthésie générale, correspondant aux émissions d'un trajet de 237 km en voiture, peut être réalisée simplement et sans impacts négatifs en termes écologiques, économiques ou sécuritaires, en diffusant des informations écologiques simples, vont dans le sens du respect des bonnes pratiques en adéquation avec un développement durable.



## 4.4 – LIMITES

Notre étude présente un certain nombre de limites.

Tout d'abord, nous avons dû arrêter la collecte de données prématurément en février 2020 au lieu d'août 2020, en raison de la crise sanitaire mondiale sans précédent de COVID-19, face à la déprogrammation des chirurgies non urgentes à partir de mi-mars 2020 et ce, pendant de nombreux mois. Cela a conduit à reconsidérer nos périodes d'information et de post information dans notre analyse de série chronologique interrompue, sans pour autant nous empêcher de mettre en évidence une diminution importante de l'impact carbone de nos activités anesthésiques.

D'autre part, tous les hypnotiques pourvoyeurs de pollution n'ont pu être inclus dans cette étude. Nous n'avons notamment pas pu analyser l'utilisation du protoxyde d'azote ( $N_2O$ ), malgré son important potentiel de réchauffement global à 100 ans, égal à 298 fois celui du  $CO_2$ .

En effet, son stockage, centralisé dans de grandes cuves, rend l'analyse quantitative précise de l'utilisation par bloc opératoire impossible. Nous savons par contre qu'un des quatre hôpitaux analysés ne dispose plus de vaporisateurs de  $N_2O$  dans les salles d'opération depuis juin 2018, et qu'une grande partie des anesthésistes des groupes locaux d'anesthésie durable ont déclaré ne plus l'utiliser depuis quelques années en raison de sa place dans l'anesthésie générale controversée (34,35,52,53). De plus, les données de commandes de  $N_2O$  entre 2015 et 2020 de deux des centres étudiés nous permettent d'affirmer que sa consommation dans ces établissements a soit stagné, soit baissé, mais pas augmenté.

Cependant, la place du  $N_2O$  dans notre pratique professionnelle doit probablement être reconsidérée, notamment compte tenu de son fort potentiel de réchauffement climatique, sans pour autant être abandonnée; ses effets indésirables ayant probablement été exagérés et ses propriétés plus larges que limitées à l'enceinte des salles d'opération, comme le souligne une récente méta-analyse (34).

Une autre limite réside dans le fait que les empreintes carbonées des émissions de gaz à effet de serre liées aux cycles de vie des molécules étudiées, estimées grâce à la modélisation de Sherman et al. (22), sont imprécises pour notre CHU.



## 4.5 – PERSPECTIVES

D'autres perspectives écologiques sont à prendre en compte pour minimiser l'impact carbone de notre profession, mais ne sont pas aussi faciles à mettre en place qu'une information telle que délivrée dans notre étude.

Le recyclage des gaz halogénés grâce à des membranes adsorbantes en vue d'une réutilisation semble une solution séduisante, mais ces dernières sont commercialisées par une seule entreprise basée au Canada (Deltasorb®, BlueZone Technologies Ltd.).

Le système est très cher, et son cycle de vie génère de manière certaine lui aussi une pollution qui reste à évaluer.

Le xénon est un gaz anesthésique sans effet de serre, mais il est 10 fois plus cher que les gaz halogénés et nécessite un ventilateur spécifique également très coûteux.

Concernant les techniques alternatives à l'anesthésie générale, l'anesthésie locorégionale peut être un moyen d'éviter l'émission de gaz à effet de serre, mais le pouvoir polluant sur l'environnement de chaque anesthésique local ainsi que de l'ensemble du matériel stérile utilisé n'est pas négligeable; son impact écologique reste donc à évaluer (21).

L'hypnose est une alternative évidemment intéressante, mais elle ne s'applique pas à tous les patients ou encore à tous les types de chirurgie.



## **En conclusion,**

Nos résultats montrent que, au CHU de Lyon, la prise de conscience écologique concernant l'impact environnemental des hypnotiques a été associée à une réduction significative de l'empreinte carbone des anesthésies générales.

Cela devrait encourager les autres services d'anesthésie à évaluer l'empreinte carbone liées aux activités de santé ainsi qu'à entreprendre des actions similaires à la nôtre.



## **5) BIBLIOGRAPHIE**

1. Roka K. Anthropocene and Climate Change. In: Leal Filho W, Azul AM, Brandli L, Özuyar PG, Wall T, éditeurs. *Climate Action* [Internet]. Cham: Springer International Publishing; 2019 [cité 26 déc 2020]. p. 1-13. Disponible sur: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-71063-1\\_26-1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-71063-1_26-1)
2. Steffen W, Persson A, Deutsch L, Zalasiewicz J, Williams M, Richardson K, et al. The anthropocene: from global change to planetary stewardship. *Ambio*. nov 2011;40(7):739-61.
3. 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. *Lancet Lond Engl*. 08 2018;392(10163):2479-514.
4. Landrigan PJ, Fuller R, Acosta NJR, Adeyi O, Arnold R, Basu NN, et al. The Lancet Commission on pollution and health. *Lancet Lond Engl*. 03 2018;391(10119):462-512.
5. Quantification of the Health Effects of Exposure to Air Pollution - Report of a WHO Working Group. :34.
6. Adaptation au changement climatique | Vie publique.fr [Internet]. [cité 15 janv 2021]. Disponible sur: <https://www.vie-publique.fr/catalogue/22109-adaptation-au-changement-climatique>
7. Téléchargements « Plan Climat Grand Lyon [Internet]. [cité 15 janv 2021]. Disponible sur: <https://blogs.grandlyon.com/plan-climat/presse/download-info/projet-de-plan-climat-air-energie-2019/>
8. Décret n° 2016-1504 du 8 novembre 2016 portant publication de l'accord de Paris adopté le 12 décembre 2015, signé par la France à New York le 22 avril 2016 (1). 2016-1504 nov 8, 2016.
9. Chung JW, Meltzer DO. Estimate of the Carbon Footprint of the US Health Care Sector. *JAMA*. 11 nov 2009;302(18):1970.
10. Eckelman MJ, Sherman JD, MacNeill AJ. Life cycle environmental emissions and health damages from the Canadian healthcare system: An economic-environmental-epidemiological analysis. *PLOS Med*. 31 juill 2018;15(7):e1002623.
11. The carbon footprint of Australian health care - PubMed [Internet]. [cité 17 déc 2020]. Disponible sur: <https://pubmed-ncbi-nlm-nih-gov.docelec.univ-lyon1.fr/29615206/>
12. OTTAWAY par B. Guide pratique du développement durable au bloc opératoire [Internet]. C2DS. 2017 [cité 15 janv 2021]. Disponible sur: <https://www.c2ds.eu/sortie-guide-c2dssfar-guide-pratique-developpement-durable-bloc-operatoire/>
13. Greening the Operating Room [Internet]. [cité 30 déc 2020]. Disponible sur: <https://www.asahq.org/about-asa/governance-and-committees/asa-committees/committee-on-equipment-and-facilities/environmental-sustainability/greening-the-operating-room-complete>
14. Eckelman M, Mosher M, Gonzalez A, Sherman J. Comparative life cycle assessment of disposable and reusable laryngeal mask airways. *Anesth Analg*. mai 2012;114(5):1067-72.
15. McGain F, McAlister S, McGavin A, Story D. A life cycle assessment of reusable and single-use central venous catheter insertion kits. *Anesth Analg*. mai 2012;114(5):1073-80.
16. 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.
17. Sulbaek Andersen MP, Nielsen OJ, Karpichev B, Wallington TJ, Sander SP. Atmospheric Chemistry of Isoflurane, Desflurane, and Sevoflurane: Kinetics and Mechanisms of Reactions with Chlorine Atoms and OH Radicals and Global Warming Potentials. *J Phys Chem A*. 21 juin 2012;116(24):5806-20.
18. Andersen MPS, Nielsen OJ, Wallington TJ, Karpichev B, Sander SP. Assessing the Impact on Global Climate from General Anesthetic Gases: *Anesth Analg*. mai 2012;114(5):1081-5.
19. Ryan SM, Nielsen CJ. Global warming potential of inhaled anesthetics: application to clinical use. *Anesth Analg*. juill 2010;111(1):92-8.
20. Mankes RF. Propofol Wastage in Anesthesia: *Anesth Analg*. mai 2012;114(5):1091-2.
21. Environmentally Classified Pharmaceuticals 2014-2015 [Internet]. Health Care Without Harm. 2014 [cité 9 janv 2021]. Disponible sur: <https://noharm-global.org/documents/environmentally->

classified-pharmaceuticals-2014-2015

22. Sherman J, Le C, Lamers V, Eckelman M. Life cycle greenhouse gas emissions of anesthetic drugs. *Anesth Analg*. mai 2012;114(5):1086-90.
23. Kostrubiak M, Vatovec CM, Dupigny-Giroux L-A, Rizzo DM, Paganelli WC, Tsai MH. Water Pollution and Environmental Concerns in Anesthesiology. *J Med Syst*. sept 2020;44(9):169.
24. Özelsel TJ-P, Sondekoppam RV, Ip VHY, Tsui BCH. Re-defining the 3R's (reduce, refine, and replace) of sustainability to minimize the environmental impact of inhalational anesthetic agents. *Can J Anesth Can Anesth*. mars 2019;66(3):249-54.
25. Sherman J, McGain F. Environmental Sustainability in Anesthesia. *Adv Anesth*. 31 déc 2016;34:47-61.
26. McGain F, Muret J, Lawson C, Sherman JD. Environmental sustainability within anaesthesia and critical care. *Br J Anaesth*. août 2020;S000709122030547X.
27. Van Norman GA, Jackson S. The anesthesiologist and global climate change: an ethical obligation to act. *Curr Opin Anaesthesiol*. août 2020;33(4):577-83.
28. McKay RE, Malhotra A, Cakmakaya OS, Hall KT, McKay WR, Apfel CC. Effect of increased body mass index and anaesthetic duration on recovery of protective airway reflexes after sevoflurane vs desflurane. *Br J Anaesth*. févr 2010;104(2):175-82.
29. Liu F-L, Cherng Y-G, Chen S-Y, Su Y-H, Huang S-Y, Lo P-H, et al. Postoperative recovery after anesthesia in morbidly obese patients: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Can J Anaesth J Can Anesth*. août 2015;62(8):907-17.
30. Arain SR, Barth CD, Shankar H, Ebert TJ. Choice of volatile anesthetic for the morbidly obese patient: sevoflurane or desflurane. *J Clin Anesth*. sept 2005;17(6):413-9.
31. Boggett S, Ou-Young J, Heiberg J, De Steiger R, Richardson M, Williams Z, et al. A randomized trial of desflurane or sevoflurane on postoperative quality of recovery after knee arthroscopy. *PLoS ONE [Internet]*. 5 août 2019 [cité 15 oct 2020];14(8). Disponible sur: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6681958/>
32. Alalawi R, Yasmeen N. Postoperative Cognitive Dysfunction in the Elderly: A Review Comparing the Effects of Desflurane and Sevoflurane. *J Perianesth Nurs*. 1 oct 2018;33(5):732-40.
33. Ryu K-H, Hwang S-H, Shim J-G, Ahn J-H, Cho E-A, Lee S-H, et al. Comparison of vasodilatory properties between desflurane and sevoflurane using perfusion index: a randomised controlled trial. *Br J Anaesth*. déc 2020;125(6):935-42.
34. Buhre W, Disma N, Hendrickx J, DeHert S, Hollmann MW, Huhn R, et al. European Society of Anaesthesiology Task Force on Nitrous Oxide: a narrative review of its role in clinical practice. *Br J Anaesth*. mai 2019;122(5):587-604.
35. Zafirova Z, Sheehan C, Hosseinian L. Update on nitrous oxide and its use in anesthesia practice. *Best Pract Res Clin Anaesthesiol*. juin 2018;32(2):113-23.
36. Atcheson CLH, Spivack J, Williams R, Bryson EO. Preventable drug waste among anesthesia providers: opportunities for efficiency. *J Clin Anesth*. mai 2016;30:24-32.
37. Lin Y-J, Wang Y-C, Huang H-H, Huang C-H, Liao M-X, Lin P-L. Target-controlled propofol infusion with or without bispectral index monitoring of sedation during advanced gastrointestinal endoscopy. *J Gastroenterol Hepatol*. juill 2020;35(7):1189-95.
38. Kennedy RR, French RA, Vestio G, Hanrahan J, Page J. The effect of fresh gas flow during induction of anaesthesia on sevoflurane usage: a quality improvement study. *Anaesthesia*. juill 2019;74(7):875-82.
39. Singh A, Sinha R, Aravindan A, Kumar KR, Datta PK. Comparison of low-fresh gas flow technique to standard technique of sevoflurane induction in children-A randomized controlled trial. *Paediatr Anaesth*. 2019;29(4):304-9.
40. Özelsel T, Kim SH, Rashid S, Tsui BCH. A closed-circuit anesthesia ventilator facilitates significant reduction in sevoflurane consumption in clinical practice. *Can J Anesth Can Anesth*. 1 déc 2015;62(12):1348-9.

41. Kennedy RR, Hendrickx JF, Feldman JM. There are no dragons: Low-flow anaesthesia with sevoflurane is safe. *Anaesth Intensive Care*. mai 2019;47(3):223-5.
42. Feldman JM. Managing fresh gas flow to reduce environmental contamination. *Anesth Analg*. mai 2012;114(5):1093-101.
43. Pauchard J-C, Gress G, Biais M, Beloeil H, Nouette-Gaulain K. Reducing the greenhouse gas emissions from halogenated agents in daily clinical practice: An audit at the University Hospital of Bordeaux. *Anaesth Crit Care Pain Med*. oct 2020;39(5):685-7.
44. Favetta P, Degoute CS, Perdrix JP, Dufresne C, Boulieu R, Guitton J. Propofol metabolites in man following propofol induction and maintenance. *Br J Anaesth*. mai 2002;88(5):653-8.
45. Han EJ, Lee DS. Significance of metabolites in the environmental risk assessment of pharmaceuticals consumed by human. *Sci Total Environ*. août 2017;592:600-7.
46. Tollinche L, Tan K, Han A, Ojea L, Yeoh C. Analyzing Volatile Anesthetic Consumption by Auditing Fresh Gas Flow: An Observational Study at an Academic Hospital. *Int J Anesth Anesthesiol*. 2018;5(1).
47. Zuegge KL, Bunsen SK, Volz LM, Stromich AK, Ward RC, King AR, et al. Provider Education and Vaporizer Labeling Lead to Reduced Anesthetic Agent Purchasing With Cost Savings and Reduced Greenhouse Gas Emissions. *Anesth Analg*. 2019;128(6):e97-9.
48. Wisconsin State Climatology Office - Madison Climate [Internet]. [cité 19 janv 2021]. Disponible sur: <https://www.aos.wisc.edu/~sco/clim-history/7cities/madison.html#HeatDeg>
49. Jaacks LM, Vandevijvere S, Pan A, McGowan CJ, Wallace C, Imamura F, et al. The obesity transition: stages of the global epidemic. *Lancet Diabetes Endocrinol*. mars 2019;7(3):231-40.
50. Klabunde CN, Willis GB, McLeod CC, Dillman DA, Johnson TP, Greene SM, et al. Improving the Quality of Surveys of Physicians and Medical Groups: A Research Agenda. *Eval Health Prof*. 1 déc 2012;35(4):477-506.
51. Esper T, Wehner M, Meinecke C-D, Rueffert H. Blood/Gas partition coefficients for isoflurane, sevoflurane, and desflurane in a clinically relevant patient population. *Anesth Analg*. janv 2015;120(1):45-50.
52. Hafiani M, Muret J, Pauchard J-C. Réduire l'utilisation du protoxyde d'azote.
53. Guen ML. Le protoxyde d'azote: présent, futur.
54. US EPA O. Overview of Climate Change Science. Accessed October 21, 2019. /climate-change-science/overview-climate-change-science

## 6) CONCLUSIONS



## DOSSIER DE SOUTENANCE DE THESE DE MEDECINE

Nom, prénom du candidat :  
CHAMBRIN Coralie

N° d'étudiant : p1518956

✓ Interne Autres spécialités : anesthésie réanimation

Titre de la thèse :

**Effet d'une action d'information auprès des professionnels sur l'évolution de l'empreinte carbone des anesthésiques inhalés au CHU de Lyon**

Président de thèse:

**Pr. CHASSARD Dominique, UFR médecine Lyon Est**

### LUTTE CONTRE LE PLAGIAT DECLARATION SUR L'HONNEUR

Ayant été informé(e) qu'en m'appropriant tout ou partie d'une œuvre pour l'intégrer dans mon propre mémoire de thèse de docteur en médecine, je me rendrais coupable d'un délit de contrefaçon au sens de l'article L335-1 & suivants du Code de la Propriété Intellectuelle et que ce délit était constitutif d'une fraude pouvant donner lieu à des poursuites pénales conformément à la Loi du 23 décembre 1901 dite de répression des fraudes dans les examens et concours publics,

Ayant été avisé(e) que le Président de l'Université sera informé de cette tentative de fraude ou de plagiat, afin qu'il saisisse la juridiction disciplinaire compétente,

Ayant été informé(e) qu'en cas de plagiat, la soutenance de la thèse de médecine sera alors automatiquement annulée, dans l'attente de la décision que prendra la juridiction disciplinaire de l'Université,

J'atteste sur l'honneur ne pas avoir reproduit dans mes documents tout ou partie d'œuvre(s) déjà existant(e)s, à l'exception de quelques brèves citations dans le texte, mises entre guillemets et référencées dans la bibliographie de mon mémoire.

A écrire à la main :

*J'atteste sur l'honneur avoir connaissance des suites disciplinaires ou pénales que j'encours en cas de déclaration énoncée en incomplète.*

Signature de la (du) candidat(e)  
Coralie CHAMBRIN



## DOSSIER DE SOUTENANCE DE THESE DE MEDECINE

Date : lundi 22 février 2021  
Lieu & salle de soutenance de thèse : salle des thèses, site rockefeller  
Heure de la thèse : 18h00

Nom, prénom du candidat : CHAMBRIN, Coralie  
Adresse : 103 rue Pierre Corneille, 69003 Lyon  
☎ 06.32.31.25.19

Email : coralie.chambrin@chu-lyon.fr

Interne Médecine générale

Interne spécialité : anesthésie-réanimation

### Effet d'une action d'information auprès des professionnels sur l'évolution de l'empreinte carbone des anesthésiques inhalés au CHU de Lyon

*Effectiveness of information of professionals on the evolution of the carbon footprint of inhaled anesthetics in a French multisite university hospital*

#### PRESIDENT ET MEMBRES DU JURY

*Président :*  
Professeur CHASSARD Dominique, MD, PhD

*UFR de médecine/UCBL1 :*  
Université de médecine Lyon Est ; HFME, Bron

*Membres assessesurs :*  
Professeur AUBRUN Frédéric, MD, PhD  
Professeur PIRIOU Vincent, MD, PhD  
Docteur BOUVET Lionel, MD, PhD  
Docteur GARIEL Claire, MD

*UFR/Uch11 et/ou activité & lieu d'exercice (hospitalier ou libéral)*  
UFR médecine Lyon Est, Hôpital de la Croix Rousse, Lyon  
UFR médecine Lyon Sud, Hôpital Lyon Sud  
UFR médecine Lyon Est, HFME, Bron  
Médecin hospitalier, pôle couple-enfant, Grenoble

VU: Président de la thèse :

GRUPPEMENT HOSPITALIER EST  
Hôpital Femme Mère Enfant  
Professeur D. CHASSARD  
N° RPPS : 10003973376  
Anesthésie-Réanimation  
89 Bd Pinel - 69677 Bron cedex

Signature du candidat :

VU :

Pour Le Président de l'Université  
Le Doyen de l'UFR de Médecine Lyon-Est

Professeur Gilles ROBE





## DOSSIER DE SOUTENANCE DE THESE DE MEDECINE

Date : lundi 22 février 2021

Lieu (salle) de soutenance de thèse : salle des thèses, site Rockefeller

Heure de la thèse : 18h00

Nom, prénom du candidat : CHAMBRIN, Coralie

### **Effet d'une action d'information auprès des professionnels sur l'évolution de l'empreinte carbone des anesthésiques inhalés au CHU de Lyon**

*Effectiveness of information of professionals on the evolution of the carbon footprint of inhaled anesthetics in a French multisite university hospital*

**Document à remplir par le Président de la thèse, Pr. à l'Université Claude Bernard – Lyon 1**

- 1) Le Président s'engage à prendre la responsabilité du suivi de la thèse pour en assurer la qualité,
- 2) Le Président établit un court rapport confirmant que le travail effectué correspond bien à celui attendu pour une thèse de Doctorat en Médecine.

### Rapport du Président de la thèse :

Je suis très heureux de donner un avis favorable à la soutenance de cette thèse car elle se situe bien dans l'air du temps qui est de regarder l'impact climatique de chacune de nos activités. Le travail qui a été mené a été rigoureux, conséquent et a débouché sur une réduction drastique des gaz à effet de serre. Il a permis de sensibiliser la communauté anesthésique à cette problématique pour leur exercice quotidien.

Je donne donc un avis tout à fait favorable à la soutenance de cette thèse.

GRUPEMENT HOSPITALIER EST  
Hôpital Femme Mère Enfant  
Professeur D. CHASSARD  
N° RPPS 10003973376  
Anesthésie-Réanimation  
59, Bd Pinel - 69677 Bron cedex

Lyon, le 6/01/2021  
**Le Président de la thèse,**  
Nom, Prénom du Président et Cachet du service  
Signature

GRUPEMENT HOSPITALIER EST  
Hôpital Femme Mère Enfant  
Professeur D. CHASSARD  
N° RPPS : 10003973376  
Anesthésie-Réanimation  
59, Bd Pinel - 69677 Bron cedex

5



**CHAMBRIN Coralie**

## CONCLUSIONS

Dans cette analyse de série chronologique interrompue, nous nous sommes attelés à évaluer l'effet d'une information écologique ciblée auprès des professionnels de l'anesthésie sur l'évolution de l'empreinte carbone liée aux émissions de gaz à effet de serre causées par les hypnotiques courants au CHU de Lyon.

L'information a consisté dès janvier 2018 en la mise en place de groupes de développements durables locaux au sein de chaque bloc opératoire du CHU de Lyon ayant pour but une diminution de l'impact écologique de nos activités professionnelles, en agissant par le biais d'informations et d'actions basées sur la littérature. Nous avons par la suite entrepris une campagne d'information ciblée sur l'impact écologique des hypnotiques de 3 mois en 2019, délivrée de manière orale lors de réunions d'information, écrite par e-mail ainsi que par le biais des réseaux sociaux, et appuyée par un questionnaire de retour d'information.

Les empreintes carbone totale et propres des émissions per-opératoires de desflurane et de sévoflurane ont été quantifiées en équivalent CO<sub>2</sub> à 100 ans ou eCO<sub>2</sub><sub>100</sub>, l'unité de référence dans les rapport internationaux sur l'évolution du climat, qui correspond à l'impact d'un gaz à effet de serre émis à un temps t sur le réchauffement climatique à 100 ans par rapport à 1g de CO<sub>2</sub>. Elles ont été calculées par le produit des quantités utilisées de desflurane et de sévoflurane dans nos blocs opératoires par leur potentiel de réchauffement global à 100 ans (PRG<sub>100</sub>) propre, respectivement 2540 et 130, selon la formule consacrée :

$$eCO_{2100} (g) = \text{quantité de gaz à effet de serre émises (g)} * PRG_{100}$$

Les empreintes carbone totale et propres des émissions de gaz à effet de serre liées aux cycles de vie du desflurane, du sévoflurane et du propofol, prenant en compte les émissions de gaz à effet de serre dues à la production, au transport, à l'utilisation et à l'élimination de ces molécules, ont également été calculées en eCO<sub>2</sub><sub>100</sub> à partir des quantités mensuelles de produits utilisées dans nos blocs opératoires.

Afin de s'affranchir de l'évolution de l'activité chirurgicale dans notre CHU, toutes les empreintes carbonées, calculées mensuellement de janvier 2015 à février 2020, ont été pondérées par le nombre d'anesthésies générales mensuelles.



Les résultats de notre étude montrent qu'une campagne d'information écologique ciblée auprès des 310 médecins anesthésistes-réanimateurs et 330 infirmières anesthésistes du centre hospitalo-universitaire de Lyon est associée à une réduction de plus de 90% (de 67kg d'eCO<sub>2</sub>100 à 6,4 kg d'eCO<sub>2</sub>100 par anesthésie générale) de l'empreinte carbone liée à l'émission de ces gaz d'anesthésie en per-opératoire sur un total de 294.000 anesthésies générales évaluées de janvier 2015 à février 2020 (p < 0,01).

L'empreinte carbone globale des émissions de gaz à effet de serre liées aux cycles de vie du desflurane, du sévoflurane et du propofol a diminué de 84% (p < 0,01). L'ensemble de ces changements est associé à une diminution de l'utilisation du desflurane de 89%, une augmentation de l'utilisation du sévoflurane de 44%, sans augmentation des quantités de propofol utilisées. On note une association de l'information à une diminution du coût de l'anesthésie dû aux hypnotiques de 3,5€ par anesthésie générale (p < 0,01).

Le questionnaire de retour d'information renforce la validité de ces résultats avec 70% des professionnels ciblés ayant répondu déclarant avoir développé leurs connaissances quant à l'impact écologique des hypnotiques suite aux informations délivrées et changer leurs pratiques à l'avenir ; 27% déclarant en 2019 déjà utiliser les hypnotiques de la manière la plus écologique possible.

Cette étude est, à notre connaissance, la première de cette envergure à avoir pris en compte l'empreinte carbone liée au desflurane, au sévoflurane ainsi qu'au propofol, et à montrer une association entre l'information concernant la pollution liée à ces hypnotiques auprès des équipes d'anesthésie, un changement de pratiques effectif et des économies autant écologiques qu'économiques.

Ces résultats devraient encourager chaque structure de santé à entreprendre la mise en place de ce type d'actions d'information, accompagnées d'une évaluation de l'évolution de l'empreinte carbone de leurs émissions de gaz à effet de serre. Ces actions contribuent ainsi au respect des Accords de Paris, ratifiés par la France en 2016, qui nous engagent, ainsi que 182 autres pays à travers le monde, à participer au maintien dans les années à venir du réchauffement climatique sous le seuil de 2°C par rapport à la température mondiale préindustrielle.

**Le Président de la thèse,**  
*Nom et Prénom du Président*  
*Cachet et Signature*

  
GROUPEMENT HOSPITALIER EST  
Hôpital Femme Mère Enfant  
Professeur D. CHASSARD  
N° RPPS 10003973376  
Anesthésie-Réanimation  
59, Bd Pineau 69677 Bron cedex

**Vu :**  
**Pour le Président de l'Université,**  
**Le Doyen de la Faculté de Médecine Lyon Est**



**Professeur Gilles RODE \***  
Vu et permis d'imprimer  
Lyon, le 11 JANVIER 2021

***Effet d'une action d'information auprès des professionnels sur l'évolution de l'empreinte carbone des anesthésiques inhalés au CHU de Lyon de 2015 à 2020***

**Contexte:** L'anesthésie contribue au réchauffement climatique, notamment par l'émission d'hypnotiques halogénés, de puissants gaz à effet de serre. Cette étude a cherché à évaluer l'impact de l'information des équipes d'anesthésie concernant la pollution liées aux hypnotiques sur l'évolution de l'empreinte carbone du CHU de Lyon, où environ 60.000 anesthésies générales sont réalisées chaque année.

**Méthodes:** La campagne d'information écologique a débuté en janvier 2018 par la création de groupes locaux d'anesthésie durable dans quatre hôpitaux des HCL ayant un activité chirurgicale: le Groupement Hospitalier Est, l'Hôpital de la Croix-Rousse, l'Hôpital Lyon Sud et l'Hôpital Edouard Herriot. Une information sur l'impact environnemental des hypnotiques a été délivrée auprès des équipes d'anesthésie sur 3 mois en 2019, suivie par l'envoi d'un questionnaire de retour d'information. Dans cette analyse de série chronologique interrompue rétrospective, le nombre de chirurgies réalisées sous anesthésie générale ainsi que les quantités d'hypnotiques utilisés de janvier 2015 à février 2020 ont été recueillis. Le critère de jugement principal était l'empreinte carbone due aux émissions per-opératoires de desflurane et de sévoflurane en équivalent CO<sub>2</sub> à 100 ans (eCO<sub>2</sub><sub>100</sub>). Les critères de jugement secondaires étaient les quantités de propofol utilisées, l'empreinte carbone des émissions de gaz à effet de serre liées aux cycles de vie du propofol et des halogénés, le coût de l'anesthésie dû aux hypnotiques. Les pentes d'évolution de chaque critère de jugement pondéré mensuellement par le nombre d'anesthésies générales ont été comparées avant et après le début des actions d'information, en janvier 2018.

**Résultats:** Durant la période d'étude, le nombre total de chirurgies réalisées sous anesthésie générale a augmenté de 20,5% pour atteindre 63 214 en 2019. Les 180 (28%) réponses aux 641 questionnaires envoyés ont montré que parmi les répondants, 126 (70%) comptaient changer leurs pratiques après cette information, et que 49 (27%) utilisaient déjà les hypnotiques en tenant compte de l'environnement. L'information écologique a été associée à un changement significatif de la pente d'évolution de l'empreinte carbone due aux émissions per opératoires de desflurane et de sévoflurane par anesthésie générale: OR = 0.092, IC95% [0.067; 0.128], p < 0.001, correspondant à une diminution nette de cette empreinte carbone de 90,2% entre 2015 et 2020 (p < 0.001). Elle a également été associée à une baisse de la pente d'évolution des quantités de propofol utilisées (p = 0.026) ainsi qu'à une baisse du coût moyen de l'anesthésie liée aux hypnotiques de 3,6€ par anesthésie générale (p < 0,001).

**Conclusions:** La prise de conscience écologique a été associée dans notre CHU à une diminution considérable de 90% de l'empreinte carbone des anesthésiques hypnotiques administrés; un résultat encourageant la mise en place d'actions d'information au sein des autres services d'anesthésie afin de permettre une réduction de l'impact environnemental de nos activités professionnelles.

***Effectiveness of information of professionals on the evolution of the carbon footprint of inhaled anesthetics in a French multisite university hospital from 2015 to 2020***

**Background:** Anesthesia contributes to global warming, in particular through the emission of anesthetic gases with a potent greenhouse effect. We aimed to evaluate the impact of environmental awareness-raising about hypnotics-related pollution for anesthesia teams on the carbon footprint of general anesthetics in four university hospitals in Lyon, France, where about 60 000 general anesthetics are administered every year.

**Methods:** An environmental information campaign started in January 2018 in four university hospitals of Lyon, with the setting up of local sustainable anesthesia groups. It included presentations focusing on the environmental impact of hypnotic drugs, delivered over three months in 2019. A feedback questionnaire was then sent to all anesthesia providers with a reminder of the presentation, to record pre-existing interest in the topic and willingness to change practices.

In this retrospective interrupted time-series analysis, the number of surgeries performed under general anesthesia and the quantities of hypnotic drugs used were collected for each month of the period between January 2015 and February 2020 in the four hospitals of our institution.

The primary endpoint of this study was the carbon footprint of peroperative emissions of desflurane and sevoflurane expressed as carbon dioxide equivalents over 100 years (CDE<sub>100</sub>). The secondary endpoints were the amount of propofol used, the carbon footprints of propofol, desflurane, and sevoflurane over their lifetimes, and the hypnotics-related cost of general anesthetics in the studied hospitals. For each endpoint, the slopes of the regression lines as a function of time, weighted by the monthly number of general anesthetics, were compared before and after the beginning of the information campaign, in January 2018.

**Results:** During the study period, the overall number of surgical procedures under general anesthesia increased by 20.5%, to 63 124 in 2019. The 180 (28%) responses to the 641 feedback questionnaires sent showed that 126 (70%) respondents wanted to change their current practices as a result of this information, while 49 (27%) declared using already hypnotics regarding their environmental impact. The provision of environmental information was associated with a significant decrease in the slope of the carbon footprint of peroperative emissions of desflurane and sevoflurane : OR = 0.092, IC95% [0.067; 0.128], p < 0.001; corresponding to a net decrease of 90.2% between 2015 and 2020. It was also associated with a decrease in the trend of the slope of propofol use (p = 0.026) and with a decrease in the mean cost in hypnotics by 3.6 € per general anesthetic during the study period (p < 0.001).

**Conclusions:** Environmental awareness raising was associated in our hospital network with a considerable 90% reduction in the carbon footprint of administered anesthetic hypnotics, a decrease that should encourage every anesthesia department to implement this type of information campaign to reduce their greenhouse gas emissions.

**MOTS CLÉS:** anesthésiques inhalés, gaz à effet de serre, empreinte carbone, équivalent CO<sub>2</sub>, pollution, information, halogénés, propofol

**Jury :** Président : Monsieur le Pr. Dominique Chassard  
Monsieur le Pr. Frédéric Aubrun  
Monsieur le Pr. Vincent Piriou  
Directeur de thèse : Monsieur le Dr. Lionel Bouvet  
Madame le Dr. Claire Gariel

Thèse soutenue le 22 février 2021  
par **Coralie CHAMBRIN**  
103 rue Pierre Corneille, 69003 Lyon, coralie.chambrin@chu-lyon.fr