



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

Creative commons : Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale
- Pas de Modification 4.0 France (CC BY-NC-ND 4.0)



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.fr>

ANNÉE 2025 N°5

***EFFET D'UNE CAMPAGNE D'INFORMATION DES PROFESSIONNELS
SUR L'UTILISATION DU SEVOFLURANE EN ANESTHESIE
PEDIATRIQUE***

THESE D'EXERCICE EN MEDECINE

Présentée à l'Université Claude Bernard Lyon 1

Et soutenue publiquement le **20/01/2025**

En vue d'obtenir le titre de Docteur en Médecine

Par

BOUTARIN Aurélie

Née le 27/12/1995 à Ecully

Sous la direction du Professeur Lionel Bouvet

UNIVERSITE CLAUDE BERNARD LYON I

Président de l'Université	Frédéric FLEURY
Président du Conseil Académique et de la Commission Recherche	Hamda BEN HADID
Vice-Président du Conseil d'Administration	Didier REVEL
Vice-Présidente de la Commission Formation	Céline BROCHIER
Vice-Président Relations Hospitalo-Universitaires	Jean François MORNEX
Directeur général des services	Pierre ROLLAND

SECTEUR SANTE

Doyen de l'UFR de Médecine Lyon-Est	Gilles RODE
Doyen de l'UFR de Médecine et de Maïeutique Lyon Sud - Charles Mérieux	Philippe PAPAREL
Doyen de l'Institut des Sciences Pharmaceutiques et Biologiques (ISPB)	Claude DUSSART
Doyen de l'UFR d'Odontologie	Jean-Christophe MAURIN
Directeur de l'Institut des Sciences & Techniques de Réadaptation (ISTR)	Jacques LUAUTÉ
Présidente du Comité de Coordination des Études Médicales	Carole BURILLON

SECTEUR SCIENCES ET TECHNOLOGIE

Directrice de l'UFR Biosciences	Kathrin GIESELER
Directeur de l'UFR Faculté des Sciences	Bruno ANDRIOLETTI
Directeur de l'UFR Sciences & Techniques des Activités Physiques et Sportives (STAPS)	Guillaume BODET
Directeur de Polytech Lyon	Emmanuel PERRIN
Directeur de l'Institut Universitaire de Technologie Lyon 1 (IUT)	Michel MASSENZIO
Directeur de l'Institut des Science Financière & Assurances (ISFA)	Nicolas LEBOISNE



Directeur de l'Observatoire de Lyon	Bruno GUIDERDONI
Directeur de l'Institut National Supérieur du Professorat & de l'Éducation (INSPÉ)	Pierre CHAREYRON
Directrice du Département-composante Génie Électrique & des Procédés (GEP)	Rosaria FERRIGNO
Directrice du Département-composante Informatique	Saida BOUAZAK BRONDEL
Directeur du Département-composante Mécanique	Marc BUFFAT

Faculté de médecine Lyon-Est
Liste des enseignants 2023/2024

Professeur des Universités – Praticien Hospitalier
Hors classe

VILLANI	AXEL	Dermatologie-vénérologie
---------	------	--------------------------

Professeurs des Universités – Praticiens Hospitaliers
Classe Exceptionnelle – Echelon 2

BLAY	JEAN-YVES	Cancérologie - Radiothérapie
CHASSARD	DOMINIQUE	Anesthésie-réanimation – Médecine d’urgence
CHEVALIER	PHILIPPE	Cardiologie
CLARIS	OLIVIER	Pédiatrie
COLIN	CYRILLE	Epidémiologie, économie de la santé et prévention
D'AMATO	THIERRY	Psychiatrie d’adulte – Addictologie
DELAHAYE	FRANCOIS	Cardiologie
DENIS	PHILIPPE	Ophtalmologie
DOUEK	CHARLES PHILIPPE	Radiologie et imagerie médicale
DUMONTET	CHARLES	Hématologie - Transfusion
FINET	GERARD	Cardiologie
GAUCHERAND	PASCAL	Gynécologie-obstétrique – Gynécologie médicale
HONNORAT	JEROME	Neurologie
LINA	BRUNO	Bactériologie-virologie – Hygiène hospitalière
MERTENS	Patrick	Anatomie
MIOSSEC	PIERRE	Immunologie
MORELON	EMMANUELLE	Néphrologie
MORNEX	JEAN-FRANÇOIS	Pneumologie - Addictologie
MOULIN	PHILIPPE	Nutrition
OBADIA	JEAN-FRANÇOIS	Chirurgie thoracique et cardiovasculaire
RIVOIRE	MICHEL	Cancérologie - Radiothérapie
RODE	GILLES	Médecine physique et de réadaptation
SCHOTT PETHELAZ	ANNE-MARIE	Epidémiologie, économie de la santé et prévention
VANDENESCH	FRANCOIS	Bactériologie-virologie – Hygiène hospitalière
ZOULIM	FABIEN	Gastroentérologie – Hépatologie - Addictologie

Professeurs des Universités – Praticiens Hospitaliers
Classe Exceptionnelle – Echelon 1

ADER	FLORENCE	Maladies infectieuses – Maladies tropicales
ARGAUD	LAURENT	Réanimation – Médecine intensive
BADET	LIONEL	Urologie

BERTHEZENE	YVES	Radiologie et imagerie médicale
BUZLUCA DARGAUD	GAMZE YESIM	Hématologie - Transfusion
COTTIN	VINCENT	Pneumologie, addictologie
DI FILIPPO	SYLVIE	Cardiologie (disponibilité du 01/06/2022 au 31/05/2024)
DURIEU GUEDON	ISABELLE	Médecine interne – Gériatrie et biologie du vieillissement – Médecine générale - Addictologie
EDERY	CHARLES PATRICK	Génétique
FAUVEL	JEAN-PIERRE	Thérapeutique – Médecine de la douleur - Addictologie
FROMENT	CAROLINE	Physiologie
GUENOT	MARC	Neurochirurgie
JULLIEN	DENIS	Dermatologie vénéréologie
KODJKIAN	LAURENT	Ophtalmologie
KROLAC-SALMONT	PIERRE	Médecine interne (disponibilité du 01/01/2023 au 31/12/2024)
MABRUT	JEAN-YVES	Chirurgie viscérale et digestive
MICHEL	PHILIPPE	Epidémiologie, économie de la santé et prévention
PICOT	STEPHANE	Parasitologie et mycologie
ROY	PASCAL	Biostatistique inf.méd.
SCHAEFFER	LAURENT	Biologie cellulaire
TRUY	ERIC	Oto-rhino-laryngologie
TURJMAN	FRANCIS	Radiologie et imagerie médicale
VANHEMS	PHILIPPE	Epidémiologie, économie de la santé et prévention
VUKUSIC	SANDRA	Neurologie

Professeurs des universités – Praticiens Hospitaliers
Première classe

AUBRUN	FREDERIC	Anesthésiologie -réanimation – Médecine d’urgence
BACCHETA	JUSTINE	Pédiatrie
BESSEREAU	JEAN-LOUIS	Biologie cellulaire
BOUSSEL	LOIC	Radiologie et imagerie médicale
CALENDER	ALAIN	Génétique
CHAPURLAT	ROLAND	Rhumatologie
CHARBOTEL COING-BOYAT	BARBARA	Médecine et santé au travail
COLOMBEL	MARC	Urologie
COTTON	FRANCOIS	Radiologie et imagerie médicale
DAVID	JEAN-STEPHANE	Anesthésiologie - Réanimation – Médecine d’urgence
DEVOUASSOUX	MOJGAN	Anatomie et cytologie pathologiques
DI ROCCO	FEDERICO	Neurochirurgie
DUBERNARD	GIL	Gynécologie-obstétrique - Gynécologie médicale
DUBOURG	LAURENCE	Physiologie
DUCLOS	ANTOINE	Epidémiologie, économie de la santé et prévention
DUMORTIER	JEROME	Gastroentérologie - Hépatologie - Addictologie
FANTON	LAURENT	Médecine légale
FELLAHI	JEAN-LUC	Anesthésiologie-réanimation – Médecine d’urgence
FERRY	TRISTAN	Maladies infectieuses – Maladies tropicales
FOURNERET	PIERRE	Pédopsychiatrie - Addictologie
GUIBAUD	LAURENT	Radiologie et imagerie médicale
HENAINE	ROLAND	Chirurgie thoracique et cardiovasculaire
HOT	ARNAUD	Médecine interne
HUISSOUD	CYRIL	Gynécologie-obstétrique - Gynécologie médicale
JACQUIN COURTOIS	SOPHIE	Médecine physique et de réadaptation

JARRAUD	SOPHIE	Bactériologie-virologie - Hygiène hospitalière
JAVOUHEY	ETIENNE	Pédiatrie
JUILLARD	LAURENT	Néphrologie
LEVRERO	MASSIMO	Gastroentérologie - Hépatologie - Addictologie
MERLE	PHILIPPE	Gastroentérologie - Hépatologie - Addictologie
MURE	PIERRE-YVES	Chirurgie infantile
NICOLINO	MARC	Pédiatrie
PERETTI	NOËL	Nutrition
PONCET	GILLES	Chirurgie viscérale et digestive
POULET	EMMANUEL	Psychiatrie d'adultes - Addictologie
RAVEROT	GERALD	Endocrinologie, diabète et maladies métaboliques - Gynécologie médicale
RAY-COQUARD	ISABELLE	Cancérologie - Radiothérapie
RHEIMS	SYLVAIN	Neurologie
RICHARD	JEAN-CHRISTOPHE	Réanimation - Médecine d'urgence
RIMMELE	THOMAS	Anesthésiologie-réanimation-Médecine d'urgence
ROBERT	MAUD	Chirurgie viscérale et digestive
ROMAN	SABINE	Physiologie
ROSSETTI	YVES	Physiologie
ROUVIERE	OLIVIER	Radiologie et imagerie médicale
SAOUD	MOHAMED	Psychiatrie d'adultes - Addictologie
THAUNAT	OLIVIER	Néphrologie
WATTEL	ERIC	Hématologie - Transfusion

Professeurs des universités – Praticiens Hospitaliers
Seconde classe

BOUVET	LIONEL	Anesthésiologie-réanimation - Médecine péri opératoire
BUTIN	MARINE	Pédiatrie
CHARRIERE	SYBIL	Nutrition
CHEDOTAL	ALAIN	Biologie cellulaire
CHENE	GAUTIER	Gynécologie-obstétrique - Gynécologie médicale
COLLARDEAU FRACHON	SOPHIE	Anatomie et cytologie pathologiques
CONFAVREUX	CYRILLE	Rhumatologie
COUR	MARTIN	Médecine intensive de réanimation
CROUZET	SEBASTIEN	Urologie
DELLA SCHIAVA	NELLIE	Chirurgie vasculaire
DUCRAY	FRANCOIS	Neurologie
DUPRE	AURELIEN	Cancérologie
DURUISSEAUX	MICHAEL	Pneumologie - Addictologie
EKER	OMER	Radiologie et imagerie médicale
GILLET	YVES	Pédiatrie
GLEIZAL	ARNAUD	Chirurgie maxillo-faciale et stomatologie
GUEBRE-EGZIABHER	FITSUM	Néphrologie
HAESEBAERT	JULIE	Epidémiologie, économie de la santé et prévention
HAESEBAERT	FREDERIC	Psychiatrie d'adultes - Addictologie
HARBAOUI	BRAHIM	Cardiologie
JACQUESSON	TIMOTHEE	Anatomie
JANIER	MARC	Biophysique et médecine nucléaire
JOUBERT	BASTIEN	Neurologie

LEMOINE	SANDRINE	Physiologie
LESCA	GAETAN	Génétique
LOPEZ	JONATHAN	Biochimie et biologie moléculaire
LUKASZEWICZ-NOGRETTE	ANNE-CLAIRE	Anesthésiologie-réanimation - Médecine d'urgence
MEWTON	NATHAN	Cardiologie
MEYRONET	DAVID	Anatomie et cytologie pathologiques
MILLON	ANTOINE	Chirurgie vasculaire - Médecine vasculaire
MOHKAM	KAYVAN	Chirurgie viscérale et digestive
MONNEUSE	OLIVIER	Chirurgie viscérale et digestive
NATAF	SERGE	Histologie - Embryologie - Cytogénétique
PIOCHE	MATHIEU	Gastroentérologie
SAINTIGNY	PIERRE	Cancérologie - Radiothérapie
THIBAUT	HELENE	Cardiologie
VENET	FABIENNE	Immunologie
VOLPE-HAEGELEN	CLAIRE	Neurochirurgie

**Professeur des universités
1^{ère} classe**

CARVALLO PLUS	SARAH	Epistémologie Histoire des Sciences et techniques
---------------	-------	---

**Professeur des universités – Médecine Générale
Classe exceptionnelle 1**

LETRILLIART	LAURENT
-------------	---------

Professeurs associés de Médecine Générale

DE LA POIX DE FREMINVILLE	HUMBERT
FARGE	THIERRY
LAINÉ	XAVIER
PIGACHE	CHRISTOPHE

Professeurs associés d'autres disciplines

CHVETZOFF	GISELE	Médecine palliative
GAZARIAN	ARAM	Chirurgie orthopédique
JUNG	JULIEN	Neurologie
LOMBARD-BOHAS	CATHERINE	Cancérologie

**Maîtres de conférences – Praticiens hospitaliers
Hors Classe**

CHALABREYSSE	LARA	Anatomie et cytologie pathologiques
COZON	GREGOIRE	Immunologie
HERVIEU	VALERIE	Anatomie et cytologie pathologiques
KOLOPP SARDA	MARIE-NATHALIE	Immunologie
MENOTTI	JEAN	Parasitologie et mycologie
PLOTTON	INGRID	Biologie et médecine du développement et de la reproduction
RABILLOUD-FERRAND	MURIEL	Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication

STREICHENBERGER	NATHALIE	Anatomie et cytologie pathologiques
TARDY GUIDOLLET	VERONIQUE	Biochimie et biologie moléculaire
TRISTAN	ANNE	Bactériologie-virologie - Hygiène hospitalière

Maîtres de conférences – Praticiens hospitaliers
Hors Classe – Echelon Exceptionnel

BENCHAIB	MEHDI	Biologie et médecine du développement et de la reproduction – Gynécologie médicale
BRINGUIER	PIERRE	Histologie, embryologie cytogénétique
PERSAT	FLORENCE	Parasitologie et mycologie
PIATON	ERIC	Histologie, embryologie cytogénétique
SAPPEY-MARINIER	DOMINIQUE	Biophysique et médecine nucléaire

Maîtres de conférences – Praticiens hospitaliers
Première classe

BONTEMPS	LAURENCE	Biophysique et médecine nucléaire
CASALEGNO	JEAN-SEBASTIEN	Bactériologie-virologie - Hygiène hospitalière
COUTANT	FREDERIC	Immunologie
CURIE	AUORE	Pédiatrie
ESCURET PONCIN	VANESSA	Bactériologie-virologie - Hygiène hospitalière
JOSSET	LAURENCE	Bactériologie-virologie - Hygiène hospitalière
LACOIN REYNAUD	QUITTERIE	Médecine interne – Gériatrie - Addictologie
ROUCHER BOULEZ	FLORENCE	Biochimie et biologie moléculaire
VASILJEVIC	ALEXANDRE	Anatomie et cytologie pathologiques
VLAEMINCK GUILLEM	VIRGINIE	Biochimie et biologie moléculaire

Maîtres de conférences – Praticiens hospitaliers
Seconde classe

BALANCA (stagiaire)	BAPTISTE	Anesthésie, réanimation médecine peri
BARBA (stagiaire)	THOMAS	Médecine interne, gériatrie, addictologie
BAUDIN	FLORENT	Pédiatrie
BENECH	NICOLAS	Gastroentérologie, hépatologie, addictologie
BITKER (stagiaire)	LAURENT	Médecine intensive de réanimation
BOCCALINI (stagiaire)	SARA	Radiologie, imagerie médicale
BOUCHIAT SARABI	CORALIE	Bactériologie-virologie - Hygiène hospitalière
BOUTY-LECAT	AUORE	Chirurgie infantile
CORTET	MARION	Gynécologie-obstétrique - Gynécologie médicale
COUTIER-MARIE	LAURIANNE	Pédiatrie
DOREY	JEAN-MICHEL	Psychiatrie d'adultes - Addictologie
DUPIEUX CHABERT (stagiaire)	CELINE	Bactériologie-virologie - Hygiène hospitalière
DUPONT	DAMIEN	Parasitologie et mycologie
GRINBERG (stagiaire)	DANIEL	Chirurgie vasculaire, médecine vasculaire
KOENIG	ALICE	Immunologie
LILOT	MARC	Anesthésiologie-réanimation - Médecine d'urgence
MAINBOURG JARDEL (stagiaire)	Sabine	Thérapeutique médecine douleur, addictologie
NGUYEN CHU	HUU KIM	Pharmacologie fondamentale, pharmacie clinique, addiction
PASQUER	ARNAUD	Chirurgie viscérale et digestive

SIMONET	THOMAS	Biologie cellulaire
VIPREY (stagiaire)	MARIE	Epidémiologie, économie de la santé et prévention

Maîtres de conférences

Hors classe

GOFFETTE	JEROME	Epistémologie Histoire des Sciences et techniques
VIGNERON	ARNAUD	Biochimie, biologie

Maîtres de conférences

Classe normale

BAYLAC-PAOULY	BAPTISTE	Epistémologie Histoire des Sciences et techniques
DALIBERT	LUCIE	Epistémologie Histoire des Sciences et techniques
FAUVERNIER	MATHIEU	Mathématiques appliquées et applications des mathématiques
LASSERRE	EVELYNE	Ethnologie, préhistoire et anthropologie biologique
LECHOPIER	NICOLAS	Epistémologie Histoire des Sciences et techniques
MATEO	SEBASTIEN	Sciences de rééducation et de réadaptation
NAZARE	JULIE-ANNE	Physiologie
PANTHU	BAPTISTE	Biologie cellulaire
VIALON	VIVIAN	Mathématiques appliquées et applications des mathématiques
VINDRIEUX	DAVID	Physiologie

Maître de conférences de Médecine Générale

1^{ère} classe

CHANELIERE	MARC
------------	------

Maître de conférences de Médecine Générale

2^{ème} classe

LAMORT-BOUCHE	MARION
---------------	--------

Maîtres de conférences associés de Médecine Générale

BREST	ALEXANDRE
PERROTIN	SOFIA
ZORZI	FREDERIC

Maître de conférences associé Autres disciplines

TOURNEBISE	HUBERT	Médecine physique et de réadaptation
------------	--------	--------------------------------------

Professeur Honoraire

DROZ	JEAN-PIERRE	Cancérologie
------	-------------	--------------

Professeurs émérites

BEZIAT	JEAN-LUC	Chirurgie maxillo-faciale et Stomatologie
BORSON-CHAZOT	FRANCOISE	Endocrinologie diabétologie maladies du métabolisme
COCHAT	PIERRE	Pédiatrie
DALIGAND	LILIANE	Médecine légale et Droit de la santé

ETIENNE	JEROME	Bactériologie-Virologie - Hygiène hospitalière
FLORET	DANIEL	Pédiatrie
GHARIB	CLAUDE	Physiologie
GUERIN	CLAUDE	Médecine intensive de réanimation
GUERIN	JEAN-FRANCOIS	Biologie et Médecine du développement et de la reproduction - Gynécologie médicale
GUEYFFIER	FRANCOIS	Pharmacie fondamentale, clinique
LEHOT	JEAN-JACQUES	Anesthésiologie-réanimation - Médecine d'urgence
MAUGUIERE	FRANCOIS	Neurologie
MELLIER	GEORGES	Gynécologie - Obstétrique
MICHALLET	MAURICETTE	Hématologie - Transfusion
MOREAU	ALAIN	Médecine générale
NEGRIER	CLAUDE	Hématologie - Transfusion
NEGRIER	MARIE-SYLVIE	Cancérologie - Radiothérapie
NIGHOGHOSSIAN	NORBERT	Neurologie
PONCHON	THIERRY	Gastroentérologie, hépatologie
PUGEAT	MICHEL	Endocrinologie et maladies métaboliques
REVEL	DIDIER	Radiologie imagerie médicale
SINDOU	MARC	Neurochirurgie
TOURAINÉ	JEAN-LOUIS	Néphrologie
TREPO	CHRISTIAN	Gastroentérologie - Hépatologie - Addictologie
TROUILLAS	JACQUELINE	Cytologie et Histologie

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(e) d'opprobre et méprisé si j'y manque.

COMPOSITION DU JURY

Président : Monsieur le Professeur Lionel BOUVET

Membres :

Monsieur le Professeur Dominique CHASSARD

Madame la Professeure Anne Claire LUKASZEWICZ

Madame la Professeure Daphné MICHELET

Monsieur le Docteur Marc LILOT

Madame la Docteure Mathilde DE QUEIROZ

REMERCIEMENTS

A mon jury :

M. le professeur Lionel BOUVET,

Merci pour ta patience, ta disponibilité et ton humour dans ce parcours qui a commencé il y a plus d'un an. Ce travail est un miroir de ta motivation sur un sujet qui devrait tous nous animer.

Merci de m'avoir épaulé et pris sous ton aile depuis mon 3^{ème} semestre et ces premières gardes laborieuses en maternité. Je te dois beaucoup dans mon choix de poursuivre en pédiatrie.

M. le professeur Dominique CHASSARD,

Je suis particulièrement honorée de votre présence au sein de mon jury de thèse et vous remercie pour ce privilège. Vous faites également partie de mes aînés qui m'ont encouragé dès le début de mon internat à poursuivre ma formation en anesthésie et réanimation pédiatrique.

Mme. la professeure Anne Claire LUKASZEWICZ,

Il me tenait à cœur de vous avoir dans mon jury et vous me faites un grand honneur d'y siéger. Vous êtes une des figures de notre spécialité qui m'inspire beaucoup tant par vos travaux que par votre bienveillance à l'égard des équipes et des internes avec lesquels vous travaillez.

Mme la professeure Daphné MICHELET,

Je tiens à vous remercier chaleureusement d'avoir accepté de faire partie de mon jury de thèse. Nous n'avons pas eu la chance de travailler ensemble, mais j'admire beaucoup votre travail, tant par votre investissement en anesthésie pédiatrique à la SFAR que par vos projets humanitaires, qui m'inspirent beaucoup.

M. le docteur Marc LILOT,

Merci de faire partie de mon jury de thèse. Je ne me serais pas vu soutenir ce travail et prêter serment sans ta présence. Depuis le 4^{ème} semestre et mon passage dans le service de cardio pédiatrie, je vois en toi un mentor et un guide pour un chemin parfois difficile. Merci de m'avoir toujours soutenue, écoutée et poussée dans cette voie. J'ai hâte de revenir.

Mme. la docteure Mathilde DE QUEIROZ,

Merci de me faire l'honneur d'être présente dans mon jury. Tu m'as toujours écoutée lorsque j'avais des doutes concernant mon parcours. Merci de ta patience, de ton accueil dans le service et de la confiance que tu as pu m'accorder dans des situations difficiles. J'espère un jour être à ton niveau.

À tous les professionnels de santé rencontrés au cours de mon internat, je vous remercie de votre patience, votre aide et de m'avoir tout appris.

De mes tous débuts à Valence, pleine de maladresse et de bonne volonté, je retiens que je ne me suis pas trompée de spécialité. Merci au Dr Thibaut Girardot d'avoir très vite senti que j'étais faite pour m'occuper des petits.

De Bourg, je souffre encore d'un temps de garde incalculable et d'une dette de sommeil énorme. Mais j'y ai appris la base de la réanimation, de l'autonomie et du travail d'équipe.

De la Neuro réanimation, je vous remercie pour votre patience quant à mes connaissances quasi nulles à mon arrivée. J'y ai trouvé une équipe de co interne qui m'a suivie pour bien des aventures.

A l'U11, j'ai tout simplement trouvé ma voie. Je peux depuis me former sereinement en anesthésie-réanimation cardio pédiatrique, parce que je trouvais que mon titre de spécialité n'était pas assez long. Merci aux médecins de l'unité pour leur accueil, à Cloé, que je retrouve bientôt à Necker et à Annaëlle pour ta bienveillance.

Aux équipes de Mermoz, merci d'avoir pris soin de moi dans le semestre le plus difficile de ma vie. J'ai pourtant adoré apprendre l'autonomie totale et la confiance en moi. Merci surtout à Camille, avec qui je pourrais rigoler en permanence.

Aux équipes de réanimation de HEH, je ne m'attendais à rien, et je n'ai pas été déçue. Avec mes acolytes internes de toujours, on a fait beaucoup de bruit, et un peu travaillé. Merci de votre bienveillance, compétence et accueil. Aux docteurs Sophie Debord et Auriane Legrand, vous êtes des modèles pour moi. Merci à Solène pour tout, hâte que tu sois mon interne.

A la réanimation pédiatrique, merci de m'avoir autorisée à répéter nuit et jour : « attend je suis pas pédiatre moi ». Je me suis sentie bien et l'aise avec vous, même en situation de crise.

Aux équipes d'anesthésie pédiatrique de l'HFME, merci de votre confiance, de votre autonomisation dans cette spécialité délicate. Ce semestre est venu conforter mon choix. Merci en particulier au Docteur Marie Naaim pour sa gentillesse et son honnêteté.

A la réanimation cardiaque de la Pitié Salpêtrière, merci de m'avoir accueillie comme vous l'avez fait. En exil à la capitale j'étais un peu perdue, mais je me suis vite retrouvée. Merci de m'avoir appris à faire tourner des ECMO et à réaliser des ETO sans crainte.

A mes co internes favoris qui m'ont aidé, supporté, accompagné, je vous adore. Baptiste, Charlotte, les Anne, Axel, Cloé, Thomas, Jérem, Margaux, Anaïs, Camille, Arthur, Rachel, Enrico, Mélo. L'avantage, c'est que vous êtes devenus mes copains, donc on peut continuer à rigoler tranquillement, sans entendre les scopes de la réanimation dans les oreilles.

A mes amis, qui m'accompagnent souvent, merci pour votre présence, grâce à vous je me sens prête pour la suite.

Aux tout premiers,

Hugo, tu as l'honneur d'ouvrir les festivités, et je sais que ça te ravit. Ta patience envers moi est légendaire. Merci de me suivre dans toutes mes idées absurdes, et j'espère te rendre la pareille, même si les tiennes sont toujours beaucoup moins dangereuses. On ne pourrait pas être plus différent, et pourtant on s'accompagne dans tout. Même si tu ne le fais jamais, tu peux te reposer sur moi.

Marion, depuis notre petite section de maternelle, tu me colles aux basques. Ceci fait officiellement plus de 25 ans. C'est long, et pourtant je ne m'en lasse pas. Merci de ton authenticité, ta douceur, ton courage. Hâte de cette énième aventure japonaise en ta compagnie.

Alban, notre amitié et notre amour n'a d'égal que notre volonté à pousser l'autre à bout par tous les moyens possibles. Depuis J1 de nos études de médecine nous faisons partie de la vie l'un de l'autre et j'ose espérer que ça continuera comme ça pour longtemps. Je te demanderais un peu de silence pendant notre voyage.

Prin, hors de question d'utiliser ton prénom, pas sûre de le connaître encore. Que de discussions animées et philosophiques (désolée de m'endormir parfois). Heureuse de te voir avec Clara aujourd'hui. Merci de m'avoir fait découvrir ta vie à Paris et de m'avoir intégrée à ton quotidien et à ta solitude qui te sont si chers. J'espère n'avoir pas fait trop de bruit.

Eva, si pleine de joie de vivre, de connaissances, et d'empathie. Je suis si heureuse de t'avoir retrouvée à Panam après tant d'années loin l'une de l'autre. J'ai hâte d'aller regarder tous les tableaux de la Renaissance italienne en Toscane avec toi. Merci d'avoir ramené Jade dans ma vie également.

A ceux rencontrés au cours de l'internat :

Romane, modèle et partenaire de vie, de soirée, de weekend, et bientôt de van en Nouvelle-Zélande. Ta porte nous est toujours ouverte, et j'espère que tu sais que malgré la distance tu pourras toujours compter sur moi.

Damien, comme je ne comptais pas conduire pendant ce voyage, merci d'avoir fait traduire ton permis. Merci pour ta douceur dans les moments les plus durs.

Pierre, j'attends patiemment notre futur combat de boxe. Merci de m'avoir aidée à y voir plus clair dans les moments de doute et de toujours trouver les mots justes.

Loris, mon partenaire de danse préféré, ta façon de voir les choses m'inspire beaucoup. Je ne pourrais pas être plus heureuse que de vous savoir ensemble avec Léo.

Chaque moment avec vous fait mal aux côtes, force de rire. Vous avez tous été mes modèles, et vous voyez, la petite dernière a finalement passé sa thèse.

Léo, il est rare de trouver un ami avec qui partager un certain nombre de passions peu communes comme le très bon rouge, réanimer des bébés très malades et les comédies musicales de pirates. Ton parcours professionnel m'inspire beaucoup, et tu es le seul qui me comprenne aussi bien dans mes choix. Merci d'avoir été mon chef, d'avoir douté avec moi et de m'avoir fait confiance pendant toutes ces nuits blanches. Je te remercie d'avoir fêté tes 30 ans.

Charlotte, sans toi, Bourg aurait été une lente agonie. Merci pour ces moments partagés, partout, en Haute Savoie ou ailleurs. J'ai hâte de vivre plus d'aventure avec toi.

Alice, le chaton frisé, tu as tant de talent et d'histoires à raconter. Merci pour ton accueil si chaleureux dans ta maison régulièrement, et de prendre le temps de me réexpliquer la vie.

Evan, trop d'honneur d'être prise pour ta sœur. Comme tu l'as si bien dit, c'est probablement parce qu'on est extrêmement beau. J'adore votre famille, avec Marla et ravie d'en faire partie

Mes deux Anne :

Indissociable l'une de l'autre. Je crois que vous êtes mon équipe médicale favorite et je rêverais de pouvoir vous embarquer avec moi partout. En plus vous êtes si petites que vous tenez dans ma poche.

Anne Zheng, tu es un exemple de volonté, du travail bien fait. Tu m'as appris beaucoup de choses et j'ai toujours essayé de te protéger du mieux que je peux.

Anne Kaas, merci de me faire confiance pour être ta témoin de mariage. Je serais toujours là pour toi, comme tu l'as été pour moi.

A l'équipe des micro-Z :

Lola, je suis fière de notre parcours, finalement parallèle, depuis nos premiers moments au bloc de Valence. On se suit un peu partout et on se retrouve bientôt à Paris. Heureusement, parce que ton esprit cartésien m'est indispensable pour toute prise de décision rationnelle.

Bapt, tu es un ami précieux, qui ne cesse de me rabâcher les oreilles avec ton Jura natal. Mais quoi que tu en dises, je préférerais toujours le reblochon au comté. Tu es passionnant, passionné et c'est que j'apprécie le plus chez toi.

Bapt M, mon tout premier co interne. J'essaie de m'imprégner de ton calme olympien dans tous les aspects de ma vie. Je garde ce duo de flegme et fougue ancré en moi. Merci de ton aide pour mes stats et tes capacités de décryptage de tout type.

Oscar, a tous ces moments partagés à Valence et après. Tu m'as aidé à grandir.

Aux parisiennes,

Mélody, merci pour ce semestre, qui aurait bien fade sans toi. J'ai appris le sens du mot cuidado à tes côtés. J'ai également écopé d'une brûlure au deuxième degré au double espresso. Vie d'anesthésiste que veux-tu.

Eva, merci pour ta joie et tes sourires à travers cette réanimation. Merci de m'avoir traînée à toutes les épreuves possibles des Jeux Olympiques et de me nourrir de jambon ibérique. Ravie d'avoir été ta prof de ski, je te valide ta 3^{ème} étoile.

Amélie, à ces nuits parisiennes, en réa ou en dehors. Merci de m'avoir intégrée à ta vie si facilement. J'ai hâte de te retrouver. Bises au reste du Squad.

Mass, rarement autant ri au travail. Merci de m'avoir invitée partout jusqu'à ton mariage. Je suis honorée de faire partie de ta vie maintenant.

A ma famille,

Celles choisies, mes amies-sœurs,

A Elsa, tu m'as accompagnée partout, pour tout et depuis toujours. Il ne se passe pas un jour sans que je pense à toi. Tu es l'amie en qui j'ai le plus confiance pour toujours me dire la vérité. Pas la peine de réaliser plus de montage photo pour l'occasion.

A Victoire, que dire que tu ne sais pas déjà. Je crois qu'on sait tout l'une de l'autre. Plus on grandit, plus tu es là. Je souhaite ne jamais te quitter.

A Juliette, notre rencontre de nuit autour de cette poubelle sous la pluie est ma blague favorite. Tu me fais l'immense joie d'être ta témoin en septembre. Tu parles d'une évidence. Tu as été ma maison pendant 2 ans, et j'ai compris ce qu'était le vrai amour en vous voyant évoluer.

A Mathilde, tu es celle que j'ai le plus intégrée à mon quotidien. Tu es venue partout, tu connais tout, tu sais tout, je ne te cache rien, et parfois peur de ne pas savoir faire si tu n'es pas là. Merci d'avoir veillé sur moi, de m'avoir appelé matin et soir pendant des mois, loin de toi. Merci de m'avoir réappris à croire en moi en me faisant grimper en tête en falaise. Tu peux te faire confiance pour l'avenir, parce que moi je ne doute jamais de toi.

A mes frères et sœurs, Alexandre, Philippe, Cécile, Charles. Merci d'être les grands de la famille et de me montrer le meilleur exemple. Vous avez tous été là pour moi à des moments différents de notre vie de famille mouvementée et de mes études. Merci de m'avoir offert les plus beaux neveux, nièces et filleule.

A mes grands-parents, vous me manquez tous. A Geo, je sais que tu serais si fière de moi. Je pense à toi tous les jours. Mais avec sourire, promis.

A mon père, merci de m'avoir transmis tes quatre passions. La montagne, le vin, l'Histoire et la médecine. J'espère te rendre fier. Et comme tu dis souvent « attend toi à tout, tu ne t'étonneras de rien ». Parole de sagesse lyonnaise, et non pas savoyarde.

A ma maman, douceur et amour. Merci d'être un modèle pour nous. Tu m'as appris qu'on pouvait être médecin et s'épanouir autrement dans la vie. Je sais que maintenant c'est toi qui me parles de tes cas difficiles, et j'essaye d'être à la hauteur de ton soutien inébranlable. Je t'adore.

A Guillaume, mon grand frère

Ta gentillesse envers moi, passé l'âge de 15 ans, n'a d'égal que ton calme et ton humour. Merci d'avoir pris soin de moi dans mes débuts à Paris. Cette œuvre n'est pas à la hauteur de tes talents d'écrivain mais j'espère te rendre fier.

A Clémence, ma petite sœur

Après avoir essayé pendant longtemps d'être celle qui te protège de tout, je t'offre ma place. Je suis fière de la personne que tu es devenue. Merci de ta maturité, de ton écoute, de tes conseils, et de ta maîtrise du pack office. Distance ou pas, on ne se quitte jamais, tu es comme mon ombre. Heureusement que tu peux te camoufler intégralement derrière moi. Continue à mettre de la musique, que tu joues si bien, partout dans ma vie.

Table des matières

INTRODUCTION	21
1. Réchauffement climatique et système de santé.....	21
1.1) Définition de la pollution atmosphérique, gaz à effet de serre et hausse de températures.	21
1.2) Impact de la pollution sur la santé	23
1.3) Rôle du système de santé.....	24
2. Anesthésie et impact carbone	25
2.1) Définition de l’empreinte carbone et équivalent CO ₂	25
2.2) Empreinte carbone des gaz anesthésiants	27
2.3) Empreinte carbone du propofol et comparaison avec les agents halogénés.....	28
3. Application en pédiatrie	30
3.1) Enjeux médicaux et environnementaux.....	30
3.2) Rationnel de l’étude	32
ARTICLE ORIGINAL	33
INTRODUCTION	34
METHODS	35
RESULTS	37
DISCUSSION	40
CONCLUSION	42
DISCUSSION	45
CONCLUSION	47
ANNEXES	48
BIBLIOGRAPHIE	50

GLOSSAIRE

OMS : Organisation Mondiale de la santé

GES : Gaz à effet de serre

UE : Union Européenne

CO : Dioxyde de carbone

PRG : Potentiel de réchauffement global

GWP: global warming potential

SFAR : Société d'anesthésie et réanimation française

ADARPEF : Association Des Anesthésistes-Réanimateurs Pédiatriques d'Expression Française

IADE : Infirmier anesthésiste diplômée d'état

TIVA : Total intra venous anesthesia

INTRODUCTION

1. Réchauffement climatique et système de santé

1.1) Définition de la pollution atmosphérique, gaz à effet de serre et hausse de températures.

L'organisation mondiale de la santé (OMS) définit la pollution de l'air comme la contamination de l'environnement intérieur ou extérieur par tout agent chimique, physique ou biologique qui modifie les caractéristiques naturelles de l'atmosphère (1).

L'élévation des températures à l'échelle mondiale est étroitement liée à l'effet de serre, un phénomène naturel qui permet de maintenir une température stable sur Terre. Sans lui, la température moyenne y serait d'environ -18°C .

Certains gaz à effet de serre (GES) proviennent de sources naturelles, comme la vapeur d'eau ou le dioxyde de carbone, tandis que d'autres sont liés aux activités humaines, comme les gaz fluorés ou le méthane. Les GES naturellement présents dans l'atmosphère permettent à la Terre d'absorber une partie de l'énergie solaire, le reste étant renvoyé dans l'espace (2).

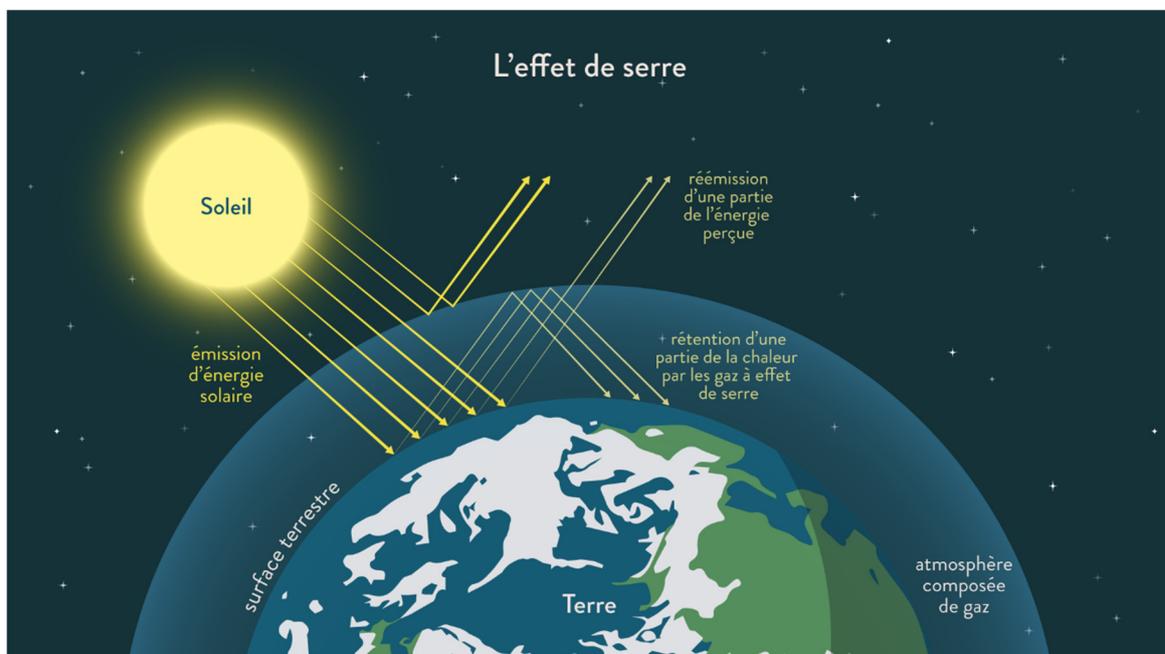


Figure 1 : Schéma représentant l'effet de serre(3)

Cependant, depuis la révolution industrielle, l'augmentation de la libération des GES par l'activité humaine a entraîné une élévation de la température sur Terre. Cette hausse importante des GES dans l'atmosphère est responsable de la crise climatique actuelle.

Average temperature anomaly, Global

Global average land-sea temperature anomaly relative to the 1961-1990 average temperature baseline.

Our World
in Data

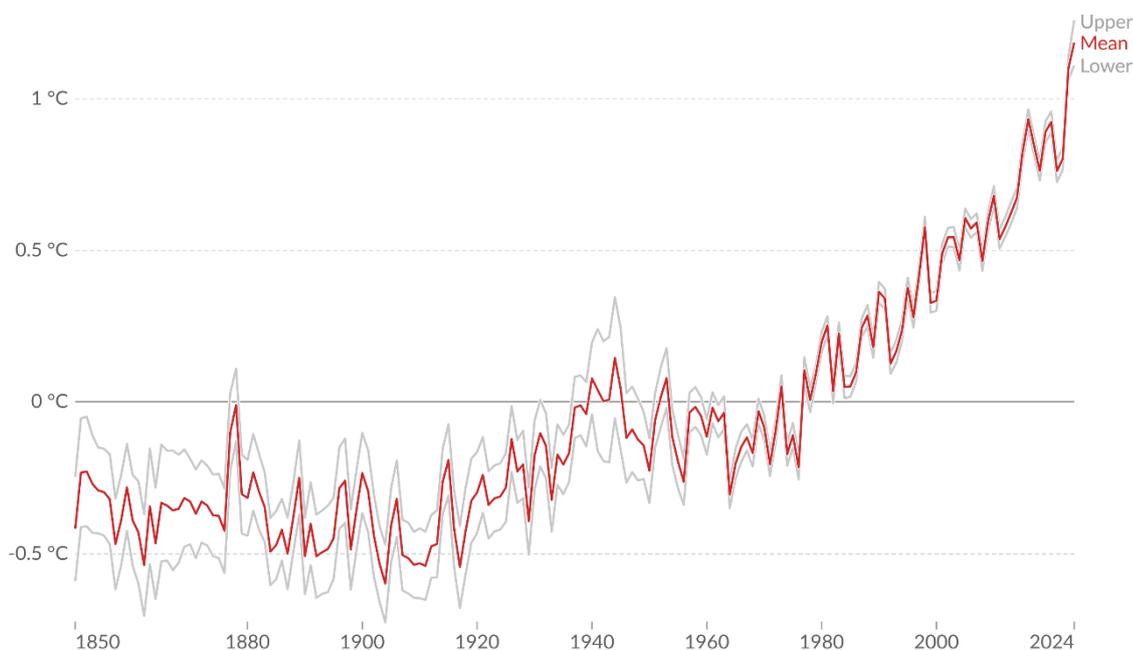


Figure 2 : Evolution de la température depuis 1850 (4)

Avant 1950, les variations de température étaient plus aléatoires, sans tendance claire. Depuis les années 1980, la hausse est constante, atteignant environ +1 °C par rapport à la moyenne de 1961-1990 (5).

Des mesures ont été mises en œuvre au niveau international, avec notamment les accords de Paris en 2015, ratifiés par 196 pays. Son objectif à long terme, en termes de température, est de limiter le réchauffement global en dessous de 2 °C par rapport aux niveaux préindustriels, avec une préférence pour ne pas dépasser +1,5 °C (6).

1.2) Impact de la pollution sur la santé

Le changement climatique ainsi que la pollution de l'air ont une action directe sur la santé de la population à l'échelle mondiale. Ainsi, les conséquences engendrées par ces phénomènes sont multiples.

On retrouve premièrement les maladies telles que les maladies respiratoires comme l'asthme, la bronchite chronique et la bronchopathie chronique obstructive, le cancer du poumon, les maladies cardiovasculaires, les maladies neurodégénératives ou encore psychiatriques (7).

A une échelle plus large, on recense d'autres événements liés au réchauffement climatique, qui peuvent mettre en tension les systèmes de santé. On retrouve les vagues de chaleur, les tempêtes, les inondations, les sécheresses et les incendies, les modifications des dynamiques des maladies infectieuses, les pénuries alimentaires et la majoration des flux migratoires (8).

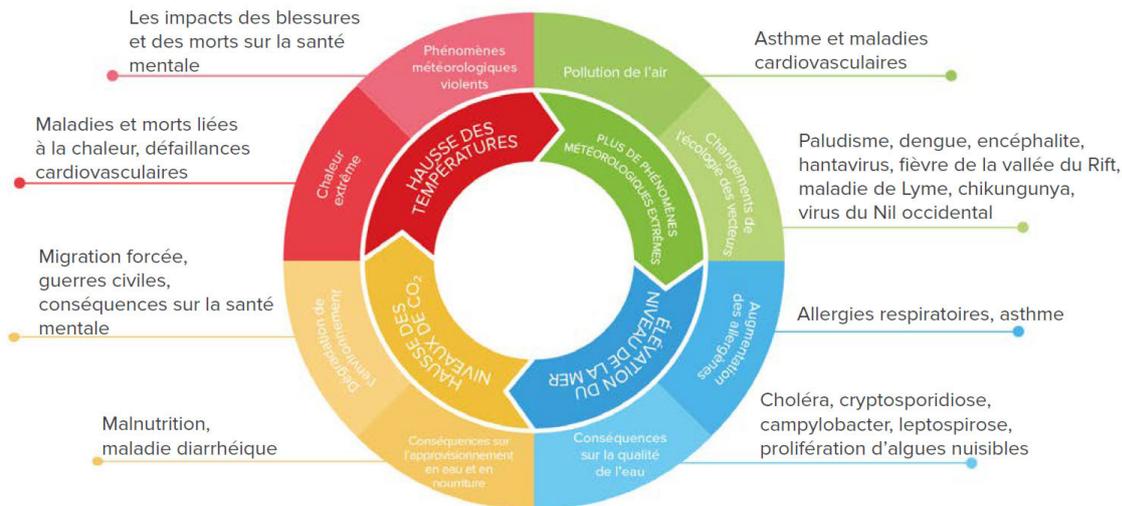


Figure 3 : Conséquence du changement climatique sur la santé (9).

Le réchauffement climatique représente ainsi une grave menace pour la santé publique à court terme, entraînant une fragilisation de la société dans son ensemble à l'échelle mondiale, et par conséquent des systèmes de santé.

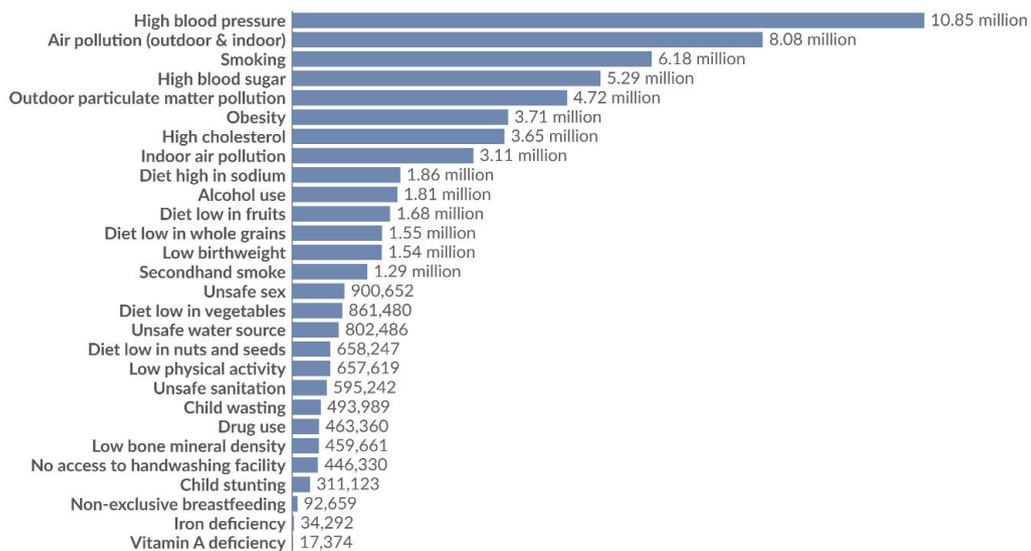


Figure 4 : Graphique représentant le nombre de morts annuels estimés selon les facteurs de risque (10).

Les trois principaux facteurs de risque de décès dans le monde en 2021 : l’hypertension artérielle, la pollution de l’air (notamment extérieur et les particules fines), et le tabagisme (Figure 4).

Ces trois facteurs de risque représentent une part importante des décès évitables et montrent l’importance de la prévention en santé publique pour réduire la mortalité globale.

1.3) Rôle du système de santé

Le système de santé occupe une position ambivalente dans ce contexte du réchauffement climatique. Bien qu’il soit indispensable pour répondre aux besoins de soins des populations et pour atténuer les effets des changements climatiques, il contribue également de manière significative aux émissions de gaz à effet de serre (GES) et à l’empreinte carbone mondiale.

Dans son dernier rapport, l’organisation internationale Health Care Without Harm établit une estimation de l’empreinte carbone du secteur de la santé au niveau mondial.

Ce rapport met en avant des chiffres marquants. Tout d’abord, l’empreinte climatique représente 4,4 % des émissions nettes mondiales, soit 2 gigatonnes de dioxyde de carbone (CO₂) par an. Ceci équivaut aux émissions annuelles de GES de 514 centrales à charbon (11).

Les Etats-Unis, la Chine et l’Union Européenne (UE) ont les systèmes de santé les plus pourvoyeurs d’émissions de GES. A eux trois, ils représentent plus de 50% de l’empreinte climatique mondial du secteur de la santé.

Ce rapport permet de mettre en lumière les différents points par lesquels le secteur de santé

contribue à l'émission de GES. En premier vient la consommation d'énergie, de manière locale. Le transport et la fabrication des produits, tel que les médicaments, les instruments de bloc, ne représentent qu'un quart de l'émission totale de GES du secteur de santé.

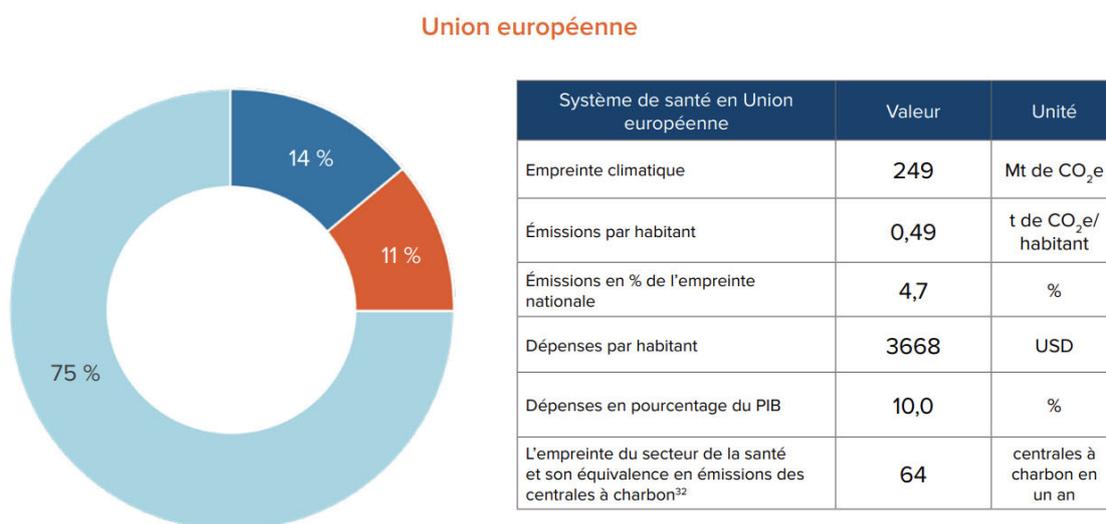


Figure 5 : Aperçu global de l'empreinte climatique du secteur de santé de l'UE (9).

Sur un plan général, le secteur de santé est donc grandement pourvoyeur de GES, avec une empreinte carbone importante. Les activités de bloc opératoires, que sont la chirurgie et l'anesthésie, représentent, à elles seules, 30% des déchets de l'hôpital, et la majorité de son empreinte carbone (12).

2. Anesthésie et impact carbone

2.1) Définition de l'empreinte carbone et équivalent CO₂

Afin d'objectiver les différentes sources d'émissions de GES dans le secteur de la santé, il est nécessaire de définir les notions d'empreinte carbone et d'équivalent carbone.

En 2023, l'Institut national de la statistique et des études économiques (Insee) a défini l'empreinte carbone comme :

« L'empreinte carbone de la France représente la quantité de gaz à effet de serre (GES) induite par la demande finale intérieure d'un pays (consommation des ménages, des administrations publiques et des organismes à but non lucratif et les investissements), que les biens ou services consommés soient

produits sur le territoire national ou importés. » (13).

Elle vise à mesurer l'impact d'une activité sur l'environnement. Cette définition peut donc s'appliquer à un Etat, mais également à un secteur d'activité ou à un individu.

L'empreinte carbone s'exprime en équivalent CO₂. Toutes les émissions de GES sont rapportées à une unité unique : **CO₂éq.** Elle a été créée par le GIEC par soucis d'uniformité. Ainsi, 1g de CO₂ émis correspond à 1g de CO₂éq.

Elle permet de comparer simplement les différents types de gaz. Les GES sont aux nombres de 6. Le dioxyde de carbone (CO₂), le méthane (CH₄), l'hydrofluorocarbure (HFC), le protoxyde d'azote (N₂O), le perfluorocarbure (PFC) et l'hexafluorure de soufre (SF₆) (14).

Tous ces gaz représentent un équivalent carbone, correspondant à son potentiel de réchauffement global (PRG) ou *global warming potential* (GWP), dans la littérature internationale. Le PRG dépend de la durée de vie du gaz dans l'atmosphère sur une durée de 20 ans ou 100 ans, par convention.

Le tableau 1 récapitule les différents types de GES et leur PRG sur 20 et 100 ans, avec pour unité, le **CO₂éq.**

Comparaison des différents gaz à effet de serre

	PRG, Potentiel de Réchauffement Global (eq CO ₂)	
	sur une période de 20 ans	sur une période de 100 ans
CO ₂ (dioxyde de carbone)	1	1
CH ₄ (méthane)	84	28
N ₂ O (protoxyde d'azote)	264	265
CF ₄ (tétrafluorure de carbone)	4880	6630
HFC-152a (1,1-difluoroéthane)	506	138

Tableau 1 : Tableau comparatif des différents GES(3).

2.2) Empreinte carbone des gaz anesthésiants

L'empreinte carbone de l'anesthésie est représentée essentiellement par les gaz halogénés. Ils possèdent un PRG très élevé (Tableau 7).

Potentiel de réchauffement global pour les gaz anesthésiques

	Plage d'absorption IR (μm)	Durée de vie troposphérique (année)	GWP 100	Conteneur standard	kg CO ₂ e pour le récipient	MAC40	Comparaison MAC CO ₂ e par rapport au Sévoflurane
Sévoflurane	7-10	1.1	130	250ml	49	1.8	1
Isoflurane	7.5-9.5	3.2	510	250ml	191	1.2	2.6
Desflurane	7.5-9.5	14	2540	240ml	893	6.6	72
Nitrous Oxide	4.5, 7.6, 12.5	110	298	Cylindre size G	5066	104	132

Tableau 2 : Etude de marché des gaz anesthésique (15).

Le desflurane possède le PRG le plus élevé des gaz halogénés. Aujourd'hui, il est recommandé de limiter au maximum son utilisation, et de favoriser le sévoflurane (16). Les mêmes recommandations s'appliquent au protoxyde d'azote, ayant une durée de vie dans l'atmosphère extrêmement longue et une action destructrice directe de la couche d'ozone (17).

Pour exemple, dans les hôpitaux lyonnais, il n'existe plus de possibilités d'utiliser le desflurane pour induire ou entretenir une anesthésie. L'utilisation du protoxyde d'azote est également standardisée, avec une consommation uniquement via des bouteilles, sans possibilité d'avoir une arrivée de NO₂ directement dans le circuit du respirateur. Ces mesures font suite à une étude menée entre 2015 et 2020 au sein des HCL (18).

Concernant le sévoflurane, bien qu'il apparaisse comme le meilleur compromis en termes d'anesthésie inhalatoire, la rationalisation de son utilisation reste un enjeu important. En effet, en pratique clinique, le gaz est administré via la sonde d'intubation, et peu métabolisé dans l'organisme. Son élimination se fait de manière directe, par exhalation, sous forme inchangée (19).

Il est généralement capté au bloc opératoire via les prises SEGA (système d'évacuation des gaz anesthésiques), puis libéré directement dans l'atmosphère, sans traitement complémentaire.

A noter que le laboratoire Baxter a développé un dispositif nommé Contrafluran©, permettant de recapturer et recycler les gaz halogénés utilisés au cours d'une anesthésie générale. Cette technique est en cours d'évaluation notamment à l'institut Curie à Paris (20).

2.3) Empreinte carbone du propofol et comparaison avec les agents halogénés

Le propofol est un agent anesthésique intra veineux. Il agit comme modulateur complexe des récepteurs de GABA-A. Il est recommandé, par la haute autorité de santé (HAS), pour les inductions et les entretiens en anesthésie, chez l'adulte comme chez l'enfant à partir de 1 mois (21).

Sur le plan métabolique, il est dégradé quasiment à 100% dans l'organisme, via la fonction rénale et dans les urines (22). Ses produits de dégradation sont le propofol-glucuronide (environ 65%) et le 4-hydroxy propofol (environ 35%) (23). Ce sont ces métabolites qui peuvent avoir un effet négatif sur l'environnement, notamment l'eau, par sa dégradation urinaire.

Les études s'intéressant aux dangers environnementaux des produits pharmaceutiques ont défini leur impact sur l'environnement aquatique par trois grands principes :

- Persistance (P) : capacité à résister à la dégradation en milieu aquatique
- Bioaccumulation (B) : accumulation dans les tissus des organismes aquatiques
- Toxicité (T) : capacité à empoisonner les milieux aquatiques

Ces trois critères définissent un score de danger noté PBT, allant d'une valeur de 0 à 9. Le propofol obtient lui un score de 4, impliquant un risque environnemental faible(17).

Dans une étude plus récente, l'écotoxicité du propofol est analysé selon sa concentration environnementale prédite (PEC). Dans l'eau, elle est en moyenne estimée à 0,15 µg/L. Les concentrations limites de toxicité pour les espèces de poissons les plus sensibles sont de 0,37 mg/L, et de 0,49 mg/L pour les algues (24).

Enfin, il a été comparé les empreintes carbonées des gaz halogénés et du propofol, en prenant en considération leur fabrication, leur cycle de vie, l'emballage, le transport et la gestion des déchets (17).

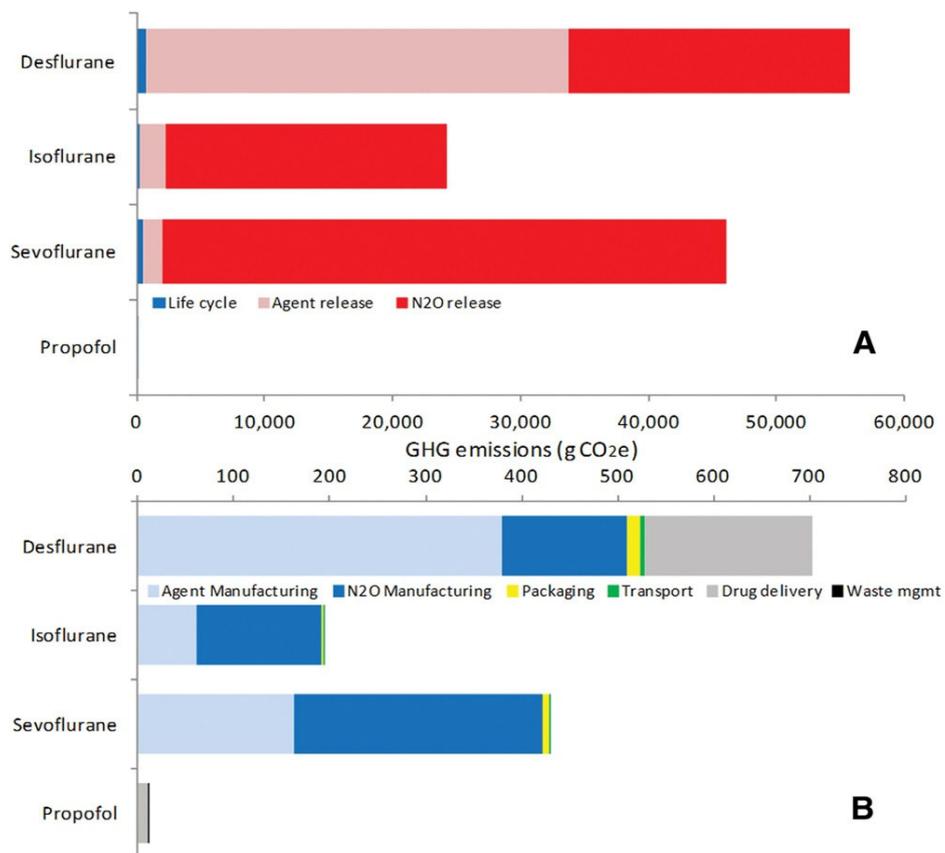


Figure 6 : Comparaison des émissions de GES des halogénés et du propofol(17)

Le propofol présente un profil environnemental plus avantageux que n'importe quel des gaz halogénés (Figure 6). Ceci implique que le propofol est dégradé correctement dans les structures hospitalières, brûlé et non enfoui (25).

3. Application en pédiatrie

La prise en charge anesthésique des enfants, allant d'un âge de 0 à 18 est un défi particulier pour les anesthésistes réanimateurs. Depuis 2023, des recommandations pour la pratique professionnelle ont été publiées, écrites conjointement entre la société française d'anesthésie réanimation (SFAR) et l'association des anesthésistes-réanimateurs pédiatriques d'expression française (ADARPEF). Ce texte permet d'établir des directives concernant l'organisation structurelle, matérielle et fonctionnelle des centres effectuant de l'anesthésie pédiatrique (26).

La prise en charge médicale en anesthésie pédiatrique, notamment le type d'induction ou d'entretien utilisé, ne se soumet pas à des recommandations officielles internationales ou françaises. Ce choix est souvent lié à l'appréciation du praticien responsable de l'anesthésie de l'enfant.

Les dernières données concernant les inductions en pédiatrie datent de 1996 et 2010. Il était retrouvé que l'induction anesthésique par inhalation était utilisée chez 88 % des enfants âgés de 1 à 4 ans et 30 % des enfants de 5 à 14 ans (27).

En pratique, le sévoflurane est l'halogéné le plus fréquemment utilisé. La vitesse d'induction est proportionnelle à la concentration inspirée, qui est souvent élevée entre 6 et 8%, entraînant une consommation du sévoflurane bien plus importante que dans d'autres blocs opératoires.

3.1) Enjeux médicaux et environnementaux

Comme établi précédemment, l'anesthésie par l'utilisation importante de gaz halogénés, est pourvoyeuse d'une pollution atmosphérique notable. En pédiatrie, la plupart des inductions étant réalisées par le biais du sévoflurane, en diminuer la consommation paraît être un enjeu écologique licite.

Sur le plan médical, plusieurs arguments sont apportés par des études récentes plaidant pour une plus large utilisation du propofol en anesthésie pédiatrique.

Tout d'abord, en 2010, une étude parue dans le Lancet montre que la prévalence du laryngospasme, complication redoutée chez l'enfant, est en nette diminution lors de l'utilisation de Propofol pour l'induction et de l'entretien de l'anesthésie (28).

Anesthesia maintenance :	<i>sevofluran</i>	<i>vs</i>	<i>propofol</i>		p-value
Bronchospasm					
Sevoflurane	6221		123	1.34 (0,83 -2,16)	0,26
Propofol	1289		19	1,00	
Laryngospasm					
Sevoflurane	6221		251	2,60 (1,66-4,08)	
Propofol	1289		20	1,00	< 0,0001

Tableau 3 : Risque respiratoire selon les drogues d'anesthésie utilisées (28).

Lors de la survenue d'un laryngospasme, le traitement de choix est l'approfondissement de l'anesthésie via l'utilisation de propofol. Cela peut aller jusqu'à la curarisation (29).

En septembre 2024, une méta-analyse a permis de montrer une diminution du risque de laryngospasme, d'agitation et de vomissement chez les patients. Cette étude recensait des patients de 0 à 16 ans, ayant subi une opération chirurgicale (30). Il n'y avait pas de différence concernant le temps d'extubation ou la récupération d'une conscience post-anesthésie générale. Le propofol était associé à un risque majoré d'apnée.

Les états d'agitation et de confusion chez l'enfant sont également imputés à l'exposition prolongée au sévoflurane en per opératoire. Un essai randomisé contrôlé, publié dans *Pediatric Anesthesia* retrouvait une diminution des états de delirium post-opératoire chez les enfants entre 2 et 6 ans ayant reçu une anesthésie intraveineuse totale pendant leur intervention (31).

Enfin, une étude parue dans le *British Journal of Anesthesia* en 2024 retrouvait une plus grande prévalence des douleurs post-opératoires chez les enfants exposés au sévoflurane tout au long de la chirurgie (32).

Il semblerait, au regard de la littérature, que l'utilisation du sévoflurane en anesthésie pédiatrique peut être remise en question. Bien que le nombre d'études soit faible, on note une tendance à la diminution des complications respiratoires, des états d'agitation ou des nausées et vomissements post-opératoires.

La rationalisation de l'utilisation du sévoflurane au bloc de pédiatrie revêt donc un intérêt écologique tant médical.

3.2) Rationnel de l'étude

Dans un contexte planétaire de sensibilisation accrue aux enjeux écologiques, les considérations environnementales ont pris de l'importance dans le domaine de l'anesthésie. Ainsi, en 2016, la SFAR a créé un groupe de développement durable. Les institutions locales ont également créé des groupes de réflexion afin d'agir concrètement dans les hôpitaux.

En 2023, à Lyon, un travail de recherche a permis de montrer que l'information des professionnels de santé et leur sensibilisation aux enjeux écologiques de l'anesthésie permettait une nette amélioration des pratiques. Sur une période de 5 ans, l'empreinte carbone liée aux halogénés des blocs opératoires lyonnais a nettement diminué (33).

Dans la continuité de ce travail, nous nous sommes interrogés sur la possibilité de réaliser ce type d'action au bloc de pédiatrie, milieu fortement imprégné de la culture des gaz halogénés. Nous avons tout d'abord évalué les connaissances des professionnels de santé, anesthésistes et infirmiers anesthésiques diplômés d'état (IADE) par le biais d'un questionnaire en octobre 2023.

Puis entre février 2024 et mars 2024, nous avons menés une campagne d'information concernant les problématiques médicales et environnementales de la consommation des halogénés. Ces réunions d'informations ont permis la présentation de propositions de nouveaux protocoles de rationalisation du sévoflurane, concernant les enfants de plus de 20 kg pour des chirurgies d'une durée supérieur à 1h. Il ne semblait pas raisonnable de proposer pour les plus jeunes patients un changement de pratique, aux vues des problématiques liées à la perfusion.

La mise en pratique de ces protocoles était laissée à la libre appréciation des anesthésistes. En parallèle, nous avons recueilli des données sur les anesthésies réalisées au bloc de pédiatrie de l'hôpital Mère Enfant de Lyon entre septembre et octobre 2023, puis mars et avril 2024.

ARTICLE ORIGINAL

Effect of providing information to professionals on the use of sevoflurane in pediatric anesthesia.

ABSTRACT

Introduction:

Global warming, driven by increasing greenhouse gas (GHG) emissions, has significant implications for public health, with the healthcare sector contributing approximately to 4.4% of global GHG emissions. Anesthesia, particularly the use of halogenated gases like sevoflurane, is a notable contributor to the carbon footprint of operating room. In pediatric anesthesia, sevoflurane is widely used despite its high global warming potential (GWP). Propofol, an intravenous (IV) anesthetic agent, offers a more environmentally friendly alternative and may reduce complications such as laryngospasm, post operative delirium and NVPO. This study aimed to assess the impact of an information campaign regarding the use of sevoflurane in pediatric anesthesia, that it would reduce its use for both induction and maintenance of general anesthesia.

Methods :

In October 2023, a questionnaire was sent to anesthesiologists and nurse anesthetists to assess their knowledge of the ecological and medical issues related to the use of sevoflurane in pediatrics. An information campaign was conducted in February 2024 at the Femme-Mère-Enfant Hospital in Lyon, targeting pediatric anesthetists and nurse anesthetists. The campaign included oral presentations and protocol distribution via email, promoting IV anesthesia (TIVA) for specific patient groups. A retrospective cohort study was performed to compare data from September–October 2023 (pre-intervention) and March–April 2024 (post-intervention) regarding induction and maintenance methods, timing of venous line placement, and associated complications. Statistical analysis was performed using R software, with a significance threshold of 0.05.

Results:

Forty professionals answered (out of 57) the questionnaire. 80% had a previous knowledge of the environmental impact of using sevoflurane. Three information meetings were set and 57 mails were sent. A total of 1,063 pediatric patients were analysed (586 pre-intervention, 477 post-intervention). IV induction rates increased significantly ($p=0.004$), as well as IV maintenance ($p=0.0313$). Pre-induction venous line placement also increased significantly ($p<0.001$). No significant difference in complication rates was observed.

Conclusion:

The intervention was associated with reduced use of sevoflurane for both induction and maintenance, encouraging environmentally sustainable anesthesia practices. The increased adoption of TIVA, supported by pre-induction venous line placement, aligns with environmental and safety objectives. These findings highlight the potential for educational campaigns to drive practice changes in pediatric anesthesia, reduce the carbon footprint, and improve patient safety. Future research should investigate the long-term impact of such interventions and evaluate their scalability across diverse healthcare settings.

INTRODUCTION

Global warming has become a worldwide concern, primarily driven by the increase in greenhouse gases (GHGs) in the atmosphere (1). This situation has severe consequences for public health, such as respiratory diseases like asthma, chronic bronchitis and chronic obstructive pulmonary disease, lung cancer, cardiovascular disease and neurodegenerative diseases (2). The healthcare system is a significant contributor to GHG emissions, accounting for approximately 4.4% of global emissions (3).

In anesthesia, inhaled halogenated anesthetics such as sevoflurane have a very high global warming potential over 100 years (GWP) and are responsible for a significant portion of hospital's carbon footprint (4). By comparison, propofol, an intravenous anesthetic agent, has a more favourable environmental profile and could be a valid alternative for maintaining general anesthesia, in spite of its aquatic toxicity (5).

Pediatric anesthesia presents specific challenges, as it is subject to few precise recommendations. Sevoflurane is widely used for induction and maintenance in pediatric anesthesia (6). Rationalizing the use of sevoflurane could reduce the carbon footprint of pediatric operating rooms. Additionally, recent studies suggested that using propofol in pediatric anesthesia could reduce respiratory complications, such as the risk of laryngospasm, as well as the prevalence of postoperative delirium, vomiting and pain (7–9).

A recent study performed in Lyon has found that raising awareness among healthcare professionals was associated with reduction in the carbon footprint of halogenated gases, notably by eliminating desflurane as an anesthetic agent (10). This prompted us to explore the feasibility of implementing similar measures in pediatric operating rooms.

The aim of this study was to assess whether such information and the proposal of a new protocol for pediatric anesthetists led to reduce the use of sevoflurane. Our hypothesis was that with this campaign, we could reduce the proportion of induction and maintenance of general anesthesia by sevoflurane.

METHODS

Study setting

In October 2023, a questionnaire was sent by Email to every pediatric anesthesia provider, focusing on the ecological and medical issues surrounding the use of sevoflurane in pediatrics. The aim was to assess the team's level of knowledge on this subject and their willingness to change their practices.

In February 2024, we conducted an awareness campaign within the pediatric anesthesia department of the Femme-Mère-Enfant Hospital, a university hospital in Lyon, Hospices Civils de Lyon. It targeted anesthetist nurses and anesthesiologists on the pediatric ward. This initiative was focusing on the environmental and medical impacts of sevoflurane consumption.

The campaign introduced and suggested new protocols for induction and maintenance for children, in two different situations (Figure 1). Briefly, patients aged <11 years who weighted more than 20 kg and had a surgery that lasted longer than an hour could benefit from an inhaled induction followed by total intra veinous anesthesia (TIVA).

In our protocol, we suggested a pre induction peripheral venous line, to realise an IV induction. Children older than 11 years old were eligible for intra veinous induction, followed by TIVA as well. Monitorage by bispectral index during induction and maintenance of general anesthesia was encouraged for both groups.

Afterwards, we conducted a retrospective cohort study comparing data from September–October 2023 (pre-intervention) and March–April 2024 (post-intervention) periods. The study was approved by the institutional review board (Comité d'Éthique des Hospices Civils de Lyon, N° 23-5326).

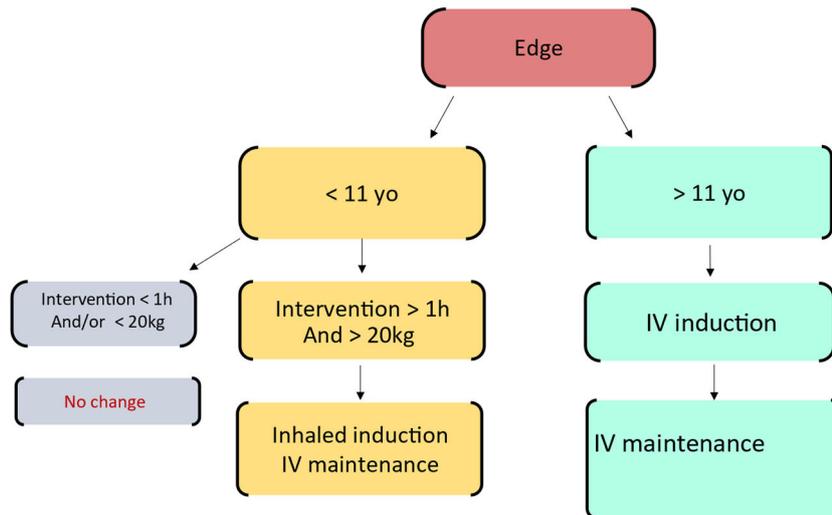


Figure 1: Sevoflurane saving protocol

Eligibility criteria

Patients were included in the study if they met the following criteria: children under 18 years old, who underwent general anesthesia for any kind of surgery. As written in the protocol (Figure 1), we evaluated children who were > 11 years old or <11 years old and were more than 20kg.

Data sources

General anesthesia occurring in the operating room of the pediatric unit of the Femme-Mère-Enfant Hospital were recorded by the Department of Medical Information of the Hospices Civils de Lyon. We used the anesthetic electronic file of each patient to collect data. The following data were extracted from the electronic patients' medical files:

- Sociodemographic data and basic characteristics: age, weight, gender, ASA;
- Data linked to anesthesia: use of locoregional anesthesia, type of induction, type of maintenance of general anesthesia, timing of peripheral venous access, occurrence of complications.
- Data about surgery, type of surgery, duration of surgery, level of urgency.

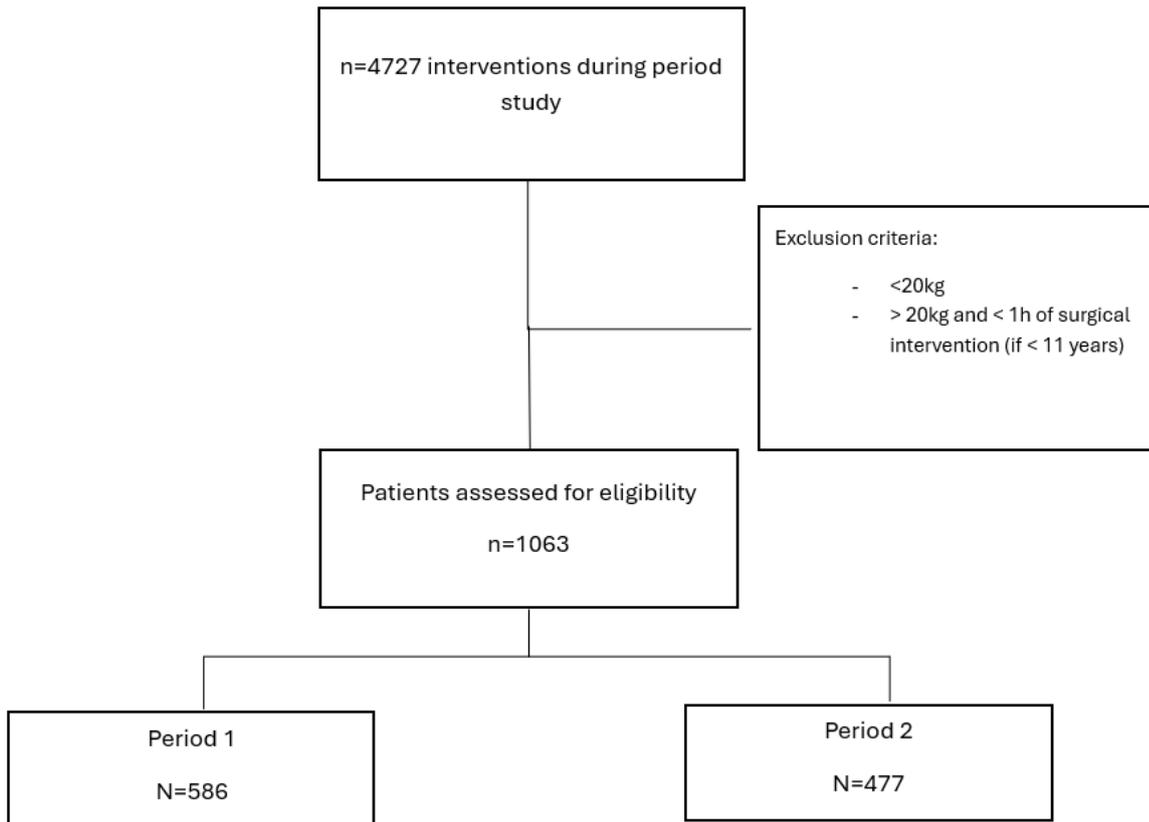


Figure 2: Flow chart of the studied population

Statistical analysis

Data was stored in Microsoft Excel. Analyses were performed using R software. Descriptive statistics were expressed as median and interquartile range [IQR] for quantitative variables and number and percentage (%) for qualitative variables. Differences between groups were estimated using the Mann-Whitney U test for quantitative variables, and the Chi-squared test for qualitative variables. The significance threshold was set at 0.05.

RESULTS

Regarding the questionnaire, we received 40 replies including all senior anesthetists (n= 25) and half the nurses (n = 15). The respondents (n = 32; 80%) stated that they had some knowledge of the ecological implications of sevoflurane, but very little about its medical implications. Three oral presentations were made and took place in the operating room of the hospital (Appendix 1). After each presentation, an Email was sent to all anesthesia providers (n = 57) with a copy of the information provided during the meeting and the proposed protocols.

During the both 2 months pre/post intervention periods (September-October 2023 and March-April 2024), a total of 4727 surgeries was performed at the Femme-Mère-Enfant Hospital. After exclusion, 586 patients were included and analyzed in the pre-intervention period and 477 in the post-intervention period.

Description of population

The characteristics of the studied population are described in Table 1. There was no statistically significant difference between the two populations except for: the duration of the intervention, the level of urgency and the use of regional anesthesia.

	Pre intervention n = 586	Post intervention n = 477	p value
Age, years (SD)	11 [8-14]	12 [9-14]	0,44
Weight	38 [26-51]	41 [30-55]	0,32
Female, n (%)	38,37	39,95	0,498
ALR, n (%)	27	21	0,014
Operating time, min (SD)	103 [76-153]	88 [65-134]	<0,001
Type of surgery :			
Reconstructive	6 (1)	3 (0.63)	
Digestive	98(16.55)	99 (20.75)	
Endoscopy	24 (3.92)	31 (6.50)	
Pulmonary fibroscopy	2 (0.34)	3 (0.63)	
Gynecology	1 (0.34)	3 (0.63)	
Maxillofacial	25 (4.27)	35 (7.34)	
Neurosurgery	45 (7.68)	47 (9.85)	
Ophthalmology	20 (3.41)	11 (2.31)	
ENT (ear, nose and throat)	69 (11.77)	44 (9.22)	
Orthopedic	212 (36.18)	151 (31.66)	
Vascular	0	1 (0,21)	
Complication, n (%)	16 (2,73)	15 (3,14)	0,829
Urgency, n (%)	39,5	32,1	0,01
ASA 1-2, n (%)	96,1	93,5	0,134

**Results are expressed as the number of patients (n) and percentage (%) or median (interquartile range). p values for the heterogeneity between 2 groups.*

Table 1: Baseline characteristics of studied patients

Main outcomes

The proportion of IV induction was significantly higher in the post-intervention group, as well as the proportion of IV maintenance compared to the preintervention period (Table 2).

	Pre intervention (n =586)	Post intervention (n = 477)	p-value
IV induction	206 (36%)	210 (44%)	p = 0,004*
IV maintenance	44 (8) %	54 (12%)	p = 0,0313*

Table 2 : Induction and maintenance of anesthesia for each group
**p-value < 0,05 for the comparison between period 1 and period 2*

Secondary outcome

Our secondary outcome focused on the timing of peripheral venous line insertion. We have identified 149 (25%) pre induction venous line in the pre intervention group, and 169 (35%) in the post intervention group, which was significantly higher in the post intervention group ($p < 0,0001$).

DISCUSSION

The findings suggest that providing medical and environmental information about pediatric anesthesia was associated with a significant reduction in the use of sevoflurane in pediatric operating rooms.

The primary results of this study show a significant reduction in inhaled induction and maintenance with sevoflurane in the post-intervention group. The post-intervention period demonstrated an increase in the use of IV anesthesia, indicating satisfactory adherence to the new protocols. This supports the idea that informing healthcare professionals can lead to effective changes in practice, as observed in a recent campaign conducted in Lyon (11).

An additional objective of this study was to evaluate the timing of peripheral venous catheter placement. It is an important aspect in pediatric anesthesia, caused by the pain or anxiety. Venous access is usually put after inhaled induction (12). However, the new protocol encouraged venous catheter placement before induction to allow for intravenous induction. The results revealed a statistically significant increase in pre-induction venous catheter placement in the post-intervention group. This shift could contribute to a smoother and more efficient anesthetic process, regarding the patient older than 11 years old. These conclusions align with recommendations made by the Royal College of Anesthetists in 2022 (13).

The proposed IV induction approach, supported by pre-established venous access, could offer additional benefits. This method has been associated with an improved safety profile, including a reduction in the risks of laryngospasm and other respiratory complications commonly associated with inhaled induction (14). In our study, no difference in the incidence of complications was observed, regardless of the type of induction or maintenance performed.

These results, stemming from both the primary and secondary objectives, are encouraging for the practice of pediatric anesthesia. They suggest that with appropriate information and education, changes are possible even though inhaled halogenated anesthetics remain necessary for the younger patients. These findings also support the hypothesis, advanced by teams in Vancouver, that total intravenous anesthesia (TIVA) could be done in pediatric practice (15).

The study also provides insights into the characteristics of the pediatric population undergoing anesthesia. Our protocols were applicable across various types of surgeries, ranging from orthopedics to neurosurgery, suggesting that the results are generalizable to a wide range of pediatric surgical procedures.

This study has several limitations. The retrospective nature of the study introduces the possibility of unmeasured confounding factors that could have influenced the results. Conducted at a single institution, the generalizability of the findings is limited. However, this protocol is currently being implemented at the Assistance Publique-Hôpitaux de Marseille (APHM), which will help validate the results on a broader scale.

While no significant differences were observed in age, gender, or ASA classification between the two groups, there were significant differences in the duration of procedures and their urgency. These factors are important to consider, as they may influence anesthetic choices, such as inhaled versus IV induction.

Another limitation could be the timing of inclusion. The first period was September to October

2023, while the second period was March to April 2024. Autumn in France is usually the start of the rhinovirus or respiratory syncytial virus (16). It may have affected the results.

Although the study provides evidence of a reduction in sevoflurane use over a short period, its impact on the carbon footprint cannot be confirmed. This is a recurring problem in studies that assess the effectiveness of their interventions on raw data. This limitation is highlighted in a meta-analysis (17) which concludes that rigorous studies using life cycle assessments according to gold standards are essential for quantifying GHG emissions and assessing the effectiveness of interventions such as ours. We inquired with the centralized pharmacy of the Femme-Mère-Enfant Hospital about whether sevoflurane consumption had decreased, but the study period was too short to gather reliable data on the overall reduction in sevoflurane consumption at the institutional level.

CONCLUSION

This study shows that an awareness campaign targeting professionals in pediatric anesthesia reduces the use of sevoflurane and participates to the development of an environmentally friendly anesthetic practices. The significant shift toward IV anesthesia, for induction and maintenance, has the potential to reduce the carbon footprint of pediatric anesthesia. By providing education on the environmental and medical impacts of anesthetic choices, healthcare institutions can play a critical role in mitigating climate change while maintaining patient safety. Future research should explore the long-term effects of this intervention on patient outcomes and further refine protocols to optimize anesthesia practices in pediatric care.

REFERENCES

1. Ritchie H, Rosado P, Roser M. CO₂ and Greenhouse Gas Emissions. Our World in Data [Internet]. 28 déc 2023 [cité 9 nov 2024]; Disponible sur: <https://ourworldindata.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions>
2. Health care climate footprint report | Health Care Without Harm (Global) [Internet]. [cité 25 sept 2024]. Disponible sur: <https://global.noharm.org/resources/health-care-climate-footprint-report>
3. French_HealthCaresClimateFootprint_091619_web.pdf [Internet]. [cité 1 févr 2024]. Disponible sur: https://healthcareclimateaction.org/sites/default/files/2021-11/French_HealthCaresClimateFootprint_091619_web.pdf
4. Ryan SM, Nielsen CJ. Global warming potential of inhaled anesthetics: application to clinical use. *Anesth Analg*. juill 2010;111(1):92-8.
5. Waspe J, Orr T. Environmental risk assessment of propofol in wastewater: a narrative review of regulatory guidelines. *Anaesthesia*. 2023;78(3):337-42.
6. Lerman J. Induction of anesthesia with sevoflurane in children: Curiosities and controversies. *Paediatr Anaesth*. oct 2022;32(10):1100-3.
7. Ungern-Sternberg BS von, Boda K, Chambers NA, Rebmann C, Johnson C, Sly PD, et al. Risk assessment for respiratory complications in paediatric anaesthesia: a prospective cohort study. *The Lancet*. 4 sept 2010;376(9743):773-83.
8. Chandler JR, Myers D, Mehta D, Whyte E, Groberman MK, Montgomery CJ, et al. Emergence delirium in children: a randomized trial to compare total intravenous anesthesia with propofol and remifentanyl to inhalational sevoflurane anesthesia. Lerman J, éditeur. *Pediatric Anesthesia*. avr 2013;23(4):309-15.
9. Abdallah BM, Elshoeibi AM, ElTantawi N, Arif M, Hourani RF, Akomolafe AF, et al. Comparison of postoperative pain in children after maintenance anaesthesia with propofol or sevoflurane: a systematic review and meta-analysis. *Br J Anaesth*. juill 2024;133(1):93-102.
10. Chambrin C, de Souza S, Gariel C, Chassard D, Bouvet L. Association Between Anesthesia Provider Education and Carbon Footprint Related to the Use of Inhaled Halogenated Anesthetics. *Anesth Analg*. 1 janv 2023;136(1):101-10.
11. Chambrin C, de Souza S, Gariel C, Chassard D, Bouvet L. Association Between Anesthesia Provider Education and Carbon Footprint Related to the Use of Inhaled Halogenated Anesthetics. *Anesth Analg*. 1 janv 2023;136(1):101-10.
12. Baujard C, Staiti G. Comment gérer une induction inhalatoire chez l'enfant ? *Le Praticien en Anesthésie Réanimation*. 1 déc 2009;13(6):438-43.
13. Thompson I, Baxter A, McCormack J, Cowie P. Total intravenous anaesthesia in children: a practical guide. *Anaesthesia & Intensive Care Medicine*. mai 2022;23(5):297-303.
14. Li C, Zhu Y. Impact of Sevoflurane and Propofol on Perioperative Respiratory Adverse Events in Pediatrics: A Systematic Review and Meta-analysis. *Journal of PeriAnesthesia Nursing*

[Internet]. 10 sept 2024 [cité 19 nov 2024]; Disponible sur:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1089947224000972>

15. Lauder GR. Total intravenous anesthesia will supercede inhalational anesthesia in pediatric anesthetic practice. *Paediatr Anaesth*. janv 2015;25(1):52-64.
16. Bronchiolite : bilan de la surveillance hivernale 2022-2023 | Santé publique France [Internet]. [cité 23 déc 2024]. Disponible sur: <https://www.santepubliquefrance.fr/les-actualites/2023/bronchiolite-bilan-de-la-surveillance-hivernale-2022-2023>
17. Pickles K, Haas R, Guppy M, O'Connor DA, Pathirana T, Barratt A, et al. Clinician and health service interventions to reduce the greenhouse gas emissions generated by healthcare: a systematic review. *BMJ Evid Based Med*. 20 sept 2024;29(5):300-12.

DISCUSSION

Notre étude visait à évaluer l'impact d'une campagne de sensibilisation auprès des équipes d'anesthésie pédiatrique dans le but de réduire l'utilisation du sévoflurane au bloc. Les résultats suggèrent qu'une information médicale et environnementale est associée à une diminution significative de l'utilisation du sévoflurane au bloc opératoire de pédiatrie.

La période post-intervention a montré une augmentation de l'utilisation de l'anesthésie IV, indiquant une adhérence satisfaisante aux nouveaux protocoles. Cela corrobore l'idée qu'informer les professionnels de santé peut entraîner un changement de pratique efficace, comme cela a été le cas dans une campagne récente menée à Lyon (33).

Un objectif supplémentaire de cette étude était d'évaluer la temporalité de la pose de voies veineuses périphériques. C'est un enjeu important en pédiatrie. La pose s'effectue après l'induction par inhalation(34). Cependant, le nouveau protocole a encouragé la pose des voies veineuses avant l'induction pour permettre une induction intraveineuse. Les résultats montrent une augmentation statistiquement significative des poses de voies veineuses avant l'induction dans le groupe post-intervention. Ce changement pourrait contribuer à un processus anesthésique plus fluide et efficace. Ces conclusions sont conformes aux recommandations formulées par le Royal College des anesthésistes britanniques en 2022 (35).

Ce changement pourrait également offrir des bénéfices médicaux. L'approche proposée d'induction IV, soutenue par l'accès veineux préalable, a été associée à un profil de sécurité amélioré, notamment une réduction des risques de laryngospasme et d'autres complications respiratoires fréquemment associées à l'induction par inhalation (36). En effet, dans notre étude, aucune différence dans la survenue de complications n'a été observée, quel que soit le type d'induction ou de maintien d'anesthésie choisi.

Ces deux résultats, issus des objectifs principaux et secondaires, sont encourageants concernant la pratique de l'anesthésie pédiatrique. Il semble qu'avec une information et une éducation adaptée, des changements soient possibles. Ces données corroborent l'hypothèse soutenue par les équipes de Vancouver, selon laquelle l'anesthésie intraveineuse totale (TIVA) pourrait remplacer les agents anesthésiques inhalés dans la pratique pédiatrique (37).

Bien qu'aucune différence significative n'ait été observée concernant l'âge, le sexe et la classification ASA entre les deux groupes, la durée des interventions et le degré d'urgence étaient des données significativement différentes. Ces facteurs sont importants à considérer, car ils pourraient influencer les choix anesthésiques, entre une induction inhalée et IV. En effet, on peut aussi s'interroger sur un possible effet de saisonnalité entre les deux périodes analysées. La période de septembre octobre est plus propice à l'apparition de virus à tropisme respiratoire chez les enfants, modifiant possiblement les stratégies d'anesthésie (38).

Nos protocoles étaient applicables à divers types de chirurgies, allant de l'orthopédie à la neurochirurgie, ce qui suggère que les résultats sont transposables à une large gamme de procédures chirurgicales pédiatriques.

Cependant, notre étude présente plusieurs limites. Premièrement, le caractère rétrospectif de l'étude introduit la possibilité de facteurs de confusion non mesurés qui auraient pu influencer les résultats. Bien que l'étude ait contrôlé certaines variables importantes, d'autres facteurs non pris en compte pourraient affecter le choix de l'anesthésie. De plus, l'étude a été menée dans un seul établissement, ce qui limite la généralisation des résultats. Répliquer cette intervention dans d'autres hôpitaux permettrait de valider les résultats et d'évaluer leur applicabilité à plus grande échelle. Ce protocole est actuellement mis en place à l'APHM (Assistance publique- Hôpitaux de Marseille).

Une autre limitation est l'absence de données sur les résultats à long terme associés au changement des techniques anesthésiques. Bien que l'étude fournisse des preuves d'une réduction de l'utilisation du sévoflurane sur une courte période, son impact sur l'empreinte carbone ne peut être confirmé. C'est un problème récurrent dans les études qui évaluent l'efficacité de leurs interventions sur des données brutes. Cette limitation est soulignée dans une méta-analyse (39) concluant que des études rigoureuses utilisant des évaluations de cycle de vie (LCA) selon des normes sont essentielles pour quantifier les émissions de GES et évaluer l'efficacité des interventions comme la nôtre.

Nous avons demandé à la pharmacie centralisée de l'Hôpital Femme-Mère-Enfant si la consommation de sévoflurane avait diminué, mais la période de notre étude était trop courte pour fournir de telles données interprétables.

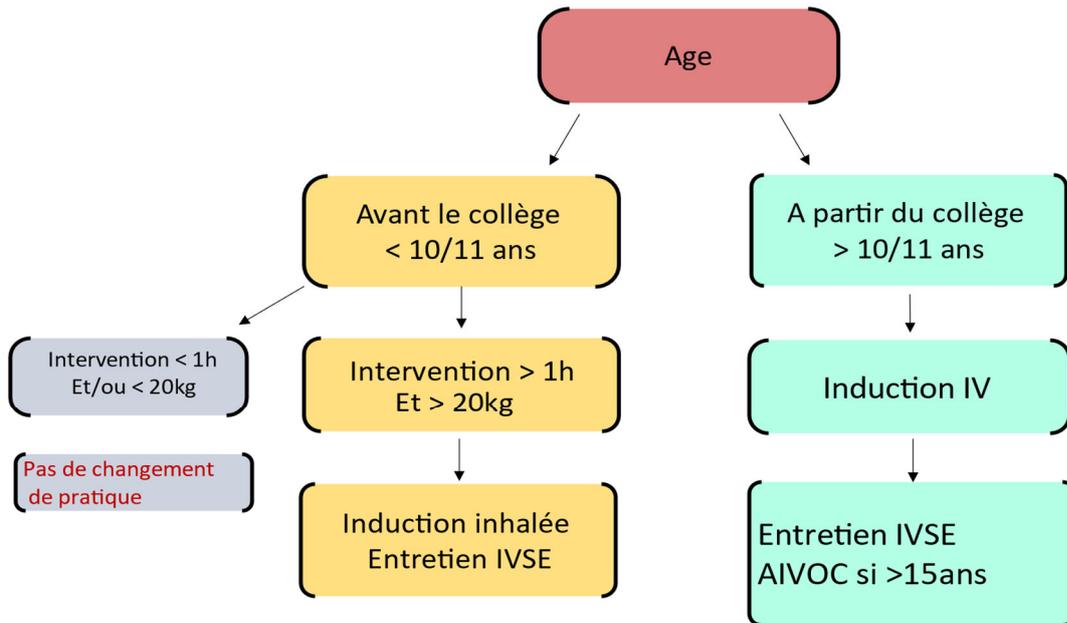
CONCLUSION

Cette étude démontre qu'une campagne de sensibilisation ciblant les professionnels en anesthésie pédiatrique peut réduire l'utilisation du sévoflurane et promouvoir des pratiques anesthésiques plus respectueuses de l'environnement.

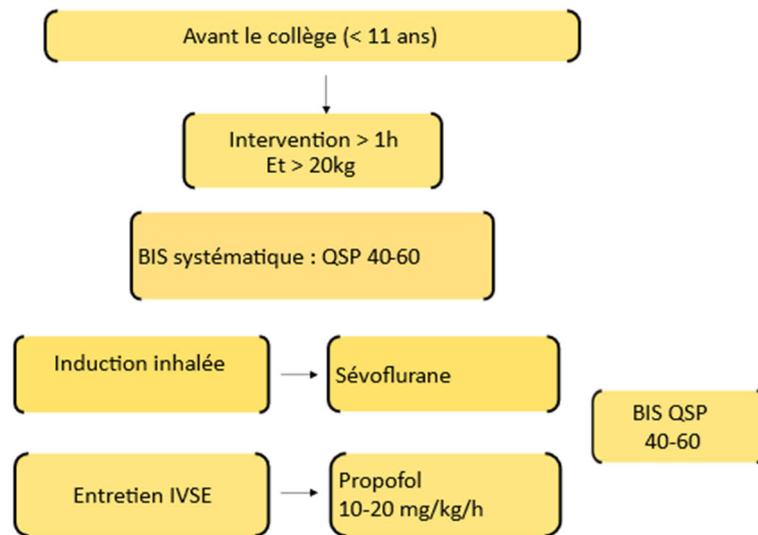
Le passage significatif à l'anesthésie IV, notamment pour l'induction, pourrait réduire l'empreinte carbone de l'anesthésie pédiatrique. En sensibilisant les professionnels sur les impacts environnementaux et médicaux des choix anesthésiques, les institutions de santé peuvent jouer un rôle clé dans la lutte contre le changement climatique tout en maintenant la sécurité des patients. Des recherches futures devraient explorer les effets à long terme de cette intervention sur les résultats des patients et affiner davantage les protocoles pour optimiser les pratiques anesthésiques en pédiatrie.

ANNEXES

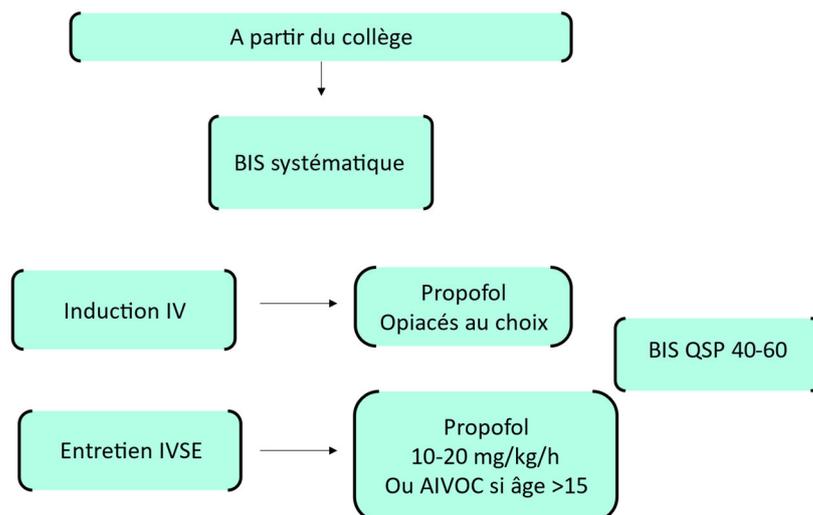
Protocole d'épargne du Sévoflurane



Protocole d'épargne du Sévoflurane



Protocole d'épargne du Sévoflurane



BIBLIOGRAPHIE

1. Pollution atmosphérique [Internet]. [cité 25 sept 2024]. Disponible sur: <https://www.who.int/fr/health-topics/air-pollution>
2. Ritchie H, Rosado P, Roser M. Greenhouse gas emissions. Our World in Data [Internet]. 5 janv 2024 [cité 9 nov 2024]; Disponible sur: <https://ourworldindata.org/greenhouse-gas-emissions>
3. notre-environnement. notre-environnement. 2024 [cité 26 sept 2024]. Les émissions de gaz à effet de serre et l’empreinte carbone. Disponible sur: <https://www.notre-environnement.gouv.fr/>
4. Surface Temperature Reconstructions for the Last 2,000 Years [Internet]. Washington, D.C.: National Academies Press; 2006 [cité 26 sept 2024]. Disponible sur: <http://www.nap.edu/catalog/11676>
5. Ritchie H, Rosado P, Roser M. CO₂ and Greenhouse Gas Emissions. Our World in Data [Internet]. 28 déc 2023 [cité 9 nov 2024]; Disponible sur: <https://ourworldindata.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions>
6. L’Accord de Paris | CCNUCC [Internet]. [cité 9 nov 2024]. Disponible sur: <https://unfccc.int/fr/a-propos-des-ndcs/l-accord-de-paris>
7. Global burden of 87 risk factors in 204 countries and territories, 1990–2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019 - The Lancet [Internet]. [cité 9 nov 2024]. Disponible sur: [https://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736\(20\)30752-2/fulltext](https://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736(20)30752-2/fulltext)
8. International comparison of health care carbon footprints - IOPscience [Internet]. [cité 9 nov 2024]. Disponible sur: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/ab19e1>
9. French_HealthCaresClimateFootprint_091619_web.pdf [Internet]. [cité 1 févr 2024]. Disponible sur: https://healthcareclimateaction.org/sites/default/files/2021-11/French_HealthCaresClimateFootprint_091619_web.pdf
10. Ritchie H, Roser M. Air Pollution. Our World in Data [Internet]. 27 févr 2024 [cité 9 nov 2024]; Disponible sur: <https://ourworldindata.org/air-pollution>
11. Health care climate footprint report | Health Care Without Harm (Global) [Internet]. [cité 10 nov 2024]. Disponible sur: <https://global.noharm.org/focus/climate/health-care-climate-footprint-report>
12. Greening the Operating Room (OR) and Perioperative Arena [Internet]. [cité 11 nov 2024]. Disponible sur: <https://www.asahq.org/about-asa/governance-and-committees/asa-committees/environmental-sustainability/greening-the-operating-room>
13. Définition - Empreinte carbone | Insee [Internet]. [cité 11 nov 2024]. Disponible sur: <https://www.insee.fr/fr/metadonnees/definition/c2132>
14. Hervé N. Synthèse du sixième rapport de synthèse du GIEC. 2023;

15. Fostering Low Carbon Healthcare in Europe - EUKI Anaesthetic Gases Project | Health Care Without Harm (Europe) [Internet]. [cité 12 nov 2024]. Disponible sur: <https://europe.noharm.org/fostering-low-carbon-healthcare-europe-euki-anaesthetic-gases-project>
16. Gress et Pauchard - 2018 - 01 Evaluation of financial, environmental cost a.pdf [Internet]. [cité 23 déc 2024]. Disponible sur: <https://sfar.org/download/evaluation-of-financial-environmental-cost-and-ecoresponsible-professional-practice-of-inhaled-anaesthesia/?wpdmdl=31468&refresh=6769243159ac21734943793>
17. Varughese S, Ahmed R. Environmental and Occupational Considerations of Anesthesia: A Narrative Review and Update. *Anesth Analg.* oct 2021;133(4):826-35.
18. Chambrin C, de Souza S, Gariel C, Chassard D, Bouvet L. Association Between Anesthesia Provider Education and Carbon Footprint Related to the Use of Inhaled Halogenated Anesthetics. *Anesth Analg.* 1 janv 2023;136(1):101-10.
19. Vollmer MK, Rhee TS, Rigby M, Hofstetter D, Hill M, Schoenenberger F, et al. Modern inhalation anesthetics: Potent greenhouse gases in the global atmosphere. *Geophysical Research Letters.* 2015;42(5):1606-11.
20. Solution de capture des agents anesthésiques CONTRAfluran™ | Baxter [Internet]. [cité 15 nov 2024]. Disponible sur: <https://www.baxter.fr/fr/professionnels-de-sante/soins-chirurgicaux/contrafluran>
21. CT-20305_PROPOFOL_LIPURO_PIS_RCP_AvisDef_CT20305.pdf [Internet]. [cité 15 nov 2024]. Disponible sur: https://www.has-sante.fr/upload/docs/evamed/CT-20305_PROPOFOL_LIPURO_PIS_RCP_AvisDef_CT20305.pdf
22. Propofol.pdf [Internet]. [cité 26 févr 2024]. Disponible sur: <https://www.astrazeneca.com/content/dam/az/PDF/Sustainability/era/Propofol.pdf>
23. Han EJ, Lee DS. Significance of metabolites in the environmental risk assessment of pharmaceuticals consumed by human. *Sci Total Environ.* 15 août 2017;592:600-7.
24. Waspe J, Orr T. Environmental risk assessment of propofol in wastewater: a narrative review of regulatory guidelines. *Anaesthesia.* 2023;78(3):337-42.
25. Barbariol F, Deana C, Lucchese F, Cataldi G, Bassi F, Bove T, et al. Evaluation of Drug Wastage in the Operating Rooms and Intensive Care Units of a Regional Health Service. *Anesthesia & Analgesia.* mai 2021;132(5):1450.
26. organisation-de-lanesthesie-pediatrique.pdf [Internet]. [cité 18 nov 2024]. Disponible sur: <https://sfar.org/download/organisation-de-lanesthesie-pediatrique/?wpdmdl=43179&refresh=673b1f5eb62091731927902>
27. Auroy Y, Clergue F, Laxenaire MC, Lienhart A, Péquignot F, Jouglu E. [Anesthetics in surgery]. *Ann Fr Anesth Reanim.* 1998;17(11):1324-41.
28. Von Ungern-Sternberg BS, Boda K, Chambers NA, Rebmann C, Johnson C, Sly PD, et al. Risk assessment for respiratory complications in paediatric anaesthesia: a prospective cohort study. *The Lancet.* sept 2010;376(9743):773-83.

29. Habre W, Disma N, Virag K, Becke K, Hansen TG, Jöhr M, et al. Incidence of severe critical events in paediatric anaesthesia (APRICOT): a prospective multicentre observational study in 261 hospitals in Europe. *Lancet Respir Med.* mai 2017;5(5):412-25.
30. Li C, Zhu Y. Impact of Sevoflurane and Propofol on Perioperative Respiratory Adverse Events in Pediatrics: A Systematic Review and Meta-analysis. *Journal of PeriAnesthesia Nursing* [Internet]. 10 sept 2024 [cité 19 nov 2024]; Disponible sur: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1089947224000972>
31. Moore AD, Angheliescu DL. Emergence Delirium in Pediatric Anesthesia. *Paediatr Drugs.* févr 2017;19(1):11-20.
32. Abdallah BM, Elshoeibi AM, ElTantawi N, Arif M, Hourani RF, Akomolafe AF, et al. Comparison of postoperative pain in children after maintenance anaesthesia with propofol or sevoflurane: a systematic review and meta-analysis. *British Journal of Anaesthesia.* juill 2024;133(1):93-102.
33. Chambrin C, de Souza S, Gariel C, Chassard D, Bouvet L. Association Between Anesthesia Provider Education and Carbon Footprint Related to the Use of Inhaled Halogenated Anesthetics. *Anesth Analg.* 1 janv 2023;136(1):101-10.
34. Baujard C, Staiti G. Comment gérer une induction inhalatoire chez l'enfant ? *Le Praticien en Anesthésie Réanimation.* 1 déc 2009;13(6):438-43.
35. Thompson I, Baxter A, McCormack J, Cowie P. Total intravenous anaesthesia in children: a practical guide. *Anaesthesia & Intensive Care Medicine.* mai 2022;23(5):297-303.
36. Oberer C, von Ungern-Sternberg BS, Frei FJ, Erb TO. Respiratory reflex responses of the larynx differ between sevoflurane and propofol in pediatric patients. *Anesthesiology.* déc 2005;103(6):1142-8.
37. Lauder GR. Total intravenous anesthesia will supercede inhalational anesthesia in pediatric anesthetic practice. *Paediatr Anaesth.* janv 2015;25(1):52-64.
38. Bronchiolite : bilan de la surveillance hivernale 2022-2023 | Santé publique France [Internet]. [cité 23 déc 2024]. Disponible sur: <https://www.santepubliquefrance.fr/les-actualites/2023/bronchiolite-bilan-de-la-surveillance-hivernale-2022-2023>
39. Pickles K, Haas R, Guppy M, O'Connor DA, Pathirana T, Barratt A, et al. Clinician and health service interventions to reduce the greenhouse gas emissions generated by healthcare: a systematic review. *BMJ Evid Based Med.* 20 sept 2024;29(5):300-12.



Nom, prénom du candidat : Boutarin Aurélie

CONCLUSIONS

Depuis plusieurs décennies, le réchauffement climatique est devenu un enjeu mondial. Il est principalement dû à l'augmentation des gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère. Cette situation entraîne des conséquences graves sur la santé publique. Le système de santé, essentiel pour répondre aux besoins de soins, est également un grand pourvoyeur de GES. En effet, le secteur de la santé représente environ 4,4 % des émissions mondiales de GES.

Dans le domaine de l'anesthésie, les gaz halogénés, comme le sévoflurane, ont un très fort potentiel de réchauffement global (PRG). Ces gaz sont responsables d'une large part de l'empreinte carbone des hôpitaux. En comparaison, le propofol, un agent anesthésique intraveineux, présente un profil environnemental plus favorable, et pourrait constituer une alternative intéressante pour l'entretien des anesthésies générales.

L'anesthésie pédiatrique présente des défis spécifiques, ne se soumettant que peu à des recommandations précises. Le sévoflurane y est utilisé de manière conséquente, pour les inductions et les entretiens des anesthésies. Une rationalisation de l'utilisation du sévoflurane pourrait réduire l'empreinte carbone du bloc de pédiatrie. De plus, des études récentes suggèrent que l'utilisation de propofol en pédiatrie pourrait réduire les complications respiratoires dont les risques de laryngospasme, ainsi que la prévalence du délirium et des vomissements en post opératoire.

En 2023, une étude à Lyon a montré que la sensibilisation des professionnels de santé avait réduit l'empreinte carbone des gaz halogénés en bloc opératoire, avec notamment la suppression du Desflurane. Nous nous sommes donc interrogés sur la faisabilité de ce type de travail au bloc de pédiatrie.

Entre février et mars 2024, nous avons mené une campagne d'information au sein du service d'anesthésie pédiatrique. Elle sensibilisait aux enjeux environnementaux et médicaux de la consommation

de sévoflurane. Elle présentait de nouveaux protocoles d'induction et d'entretien pour les enfants de plus de 20kg. En parallèle, nous avons mené une étude de cohorte rétrospective interventionnelle, entre septembre octobre 2023 (pré intervention) et mars avril 2024 (post intervention). Au total, 589 patients ont été inclus entre septembre et octobre 2023, et 478 entre mars et avril 2024. Le type d'induction et d'entretien reçus sur ces différentes périodes ont été analysés. Nous souhaitons évaluer la diminution des inductions et des entretiens au sévoflurane à la suite de la mise en place de nos nouveaux protocoles.

Les résultats de notre travail montrent une diminution significative du nombre d'induction inhalée entre la période pré intervention et la période post intervention. On retrouve une significative de $P = 0,004$. On retrouve également une diminution significative du nombre d'entretien au sévoflurane entre les deux périodes ($P = 0,0313$).

Ces résultats montrent qu'une campagne d'information permet de modifier les pratiques, même dans un milieu avec une forte culture de l'halogéné comme au bloc de pédiatrie. Ceci est un résultat encourageant pour une étude préliminaire. Ces conclusions devraient motiver la prise de mesures institutionnelles afin de diminuer l'utilisation du sévoflurane de manière plus globale.

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

Pr Lionel BOUVET



Vu :
Pour le Président de l'Université,
Le Doyen de l'UER de Médecine Lyon Est

Professeur Gilles RODE
Vu et permis d'imprimer
Lyon, le 29 NOV. 2024



BOUTARIN Aurélie

Evaluation de l'effet d'une campagne d'informations aux professionnels sur l'utilisation du sévoflurane en anesthésie pédiatrique

RESUME

Introduction :

Le réchauffement climatique, causé par l'augmentation des émissions de gaz à effet de serre (GES), constitue un défi majeur pour la santé publique, et le secteur de la santé représente une part significative des émissions mondiales de GES. L'utilisation de gaz halogénés comme le sévoflurane, contribue de manière significative à l'empreinte carbone des blocs opératoires. Cette étude visait à évaluer l'impact d'une campagne d'information sur l'impact environnemental et médical lié à l'utilisation du sévoflurane en anesthésie pédiatrique, en émettant l'hypothèse qu'elle réduirait son utilisation tant pour l'induction que pour l'entretien de l'anesthésie générale.

Méthodes :

Une campagne d'information a été menée en février 2024 à l'Hôpital Femme-Mère-Enfant de Lyon, ciblant les anesthésistes et les infirmiers anesthésistes exerçant au bloc opératoire pédiatrique. La campagne comprenait des présentations orales et la diffusion par email de protocoles promouvant l'anesthésie intraveineuse pour certains groupes d'enfants. Une étude de cohorte rétrospective a comparé les données médicales des enfants opérés en septembre-octobre 2023 (avant intervention) et en mars-avril 2024 (après intervention), en examinant les méthodes d'induction et de maintien, le moment de la pose de la voie veineuse et les complications associées.

Résultats : Les données de 1 063 enfants ont été analysées (586 avant intervention, 477 après intervention). Le taux d'induction intraveineuse a significativement augmenté ($p=0,004$), tout comme celui de l'entretien intra veineux ($p=0,0313$) après la campagne d'info. La pose de la voie veineuse avant induction a également significativement progressé ($p<0,001$).

Conclusion :

L'intervention a été associée à une réduction de l'utilisation du sévoflurane pour l'induction et l'entretien des anesthésies générales. Ces résultats mettent en lumière le potentiel des campagnes éducatives pour induire des changements de pratiques en anesthésie pédiatrique, dans le but de réduire l'empreinte carbone et améliorer la sécurité des patients. Des recherches futures devraient explorer les effets à long terme de telles interventions et leur applicabilité à des contextes de soins diversifiés.

MOTS CLES : anesthésie pédiatrique, sévoflurane, induction inhalatoire, induction IV

JURY

Président : Monsieur le Professeur Lionel BOUVET
Membres : Monsieur le Professeur Dominique CHASSARD
Madame la Professeure Anne Claire LUKASZEWICZ
Madame la Professeure Daphné MICHELET
Monsieur le Docteur Marc LILOT
Madame la Docteur Mathilde DE QUEIROZ

DATE DE SOUTENANCE : 20 janvier 2025

Email: aurelie.boutarin@hotmail.fr