

UNIVERSITÉ DE NANTES

FACULTÉ DE MÉDECINE

Année : 2019

N° 2019-22

THÈSE

pour le

DIPLÔME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN MÉDECINE

MÉDECINE DU TRAVAIL

par

François LÉGER
né le 23 février 1989 à Créteil (94)

Présentée et soutenue publiquement le 13 mars 2019

ÉVALUATION DES PRATIQUES PROFESSIONNELLES ET DES RISQUES
CHEZ LES SOIGNANTS LIÉS À L'UTILISATION DU MEOPA (MÉLANGE ÉQUIMOLAIRE
D'OXYGÈNE ET DE PROTOXYDE D'AZOTE)
DANS LE CADRE DE LA PRISE EN CHARGE DE LA DOULEUR
AU CHU DE NANTES

Président : Monsieur le Professeur Julien NIZARD

Directeur de thèse : Madame le Docteur Emmanuelle KUHN



UNIVERSITÉ DE NANTES

« Choisissez un travail que vous aimez et vous n'aurez pas à travailler un seul jour de votre vie »

Confucius

REMERCIEMENTS

Tout d'abord, je tiens à remercier l'ensemble des membres du jury :

À Monsieur le Professeur Julien Nizard

Vous me faites l'honneur de présider ce jury de thèse.

Je vous remercie pour l'enseignement, la patience et le soutien indéfectible que vous m'accordez depuis mon passage au Centre d'Évaluation et de Traitement de la Douleur du CHU lors de mon sixième semestre. Je mesure ma chance de travailler avec vous et de rejoindre votre équipe dans les mois qui viennent, avec sans nul doute, de belles aventures en perspective.

À Madame le Docteur Emmanuelle Kuhn

Je te remercie d'avoir accepté de devenir ma directrice de thèse.

C'est un honneur d'avoir dans ce jury la présidente du Comité de Lutte contre la Douleur - Soins Palliatifs du CHU, l'un des principaux acteurs dans l'amélioration des pratiques d'utilisation du MEOPA. Ce n'est pas toujours facile de poursuivre un travail déjà commencé et par ton regard éclairé, tu m'as aidé à enrichir ce travail à la croisée des chemins entre médecine du travail et médecine de la douleur.

À Madame le Professeur Leïla Moret

Je vous remercie d'avoir accepté de participer à mon jury de thèse malgré votre emploi du temps très chargé. C'est un honneur d'avoir dans ce jury une excellente enseignante qui porte avec enthousiasme l'étendard de la prévention au CHU en tant que chef du Pôle Hospitalo-Universitaire de Santé Publique et Santé au Travail.

À Madame le Docteur Caroline Victorri-Vigneau

Je vous remercie d'avoir accepté de participer à mon jury de thèse.

C'est un honneur d'avoir dans ce jury un praticien membre du Centre d'Évaluation et d'Information sur la Pharmacodépendance du CHU qui participe au suivi national du MEOPA.

À Madame le Docteur Caroline Joyau

Je vous remercie d'avoir accepté de participer à mon jury de thèse.

C'est un honneur d'avoir dans ce jury un praticien membre du Centre Régional de Pharmacovigilance et d'Information sur les Médicaments du CHU qui participe au suivi national du MEOPA.

À Madame le Docteur Virginie Naël

Je te remercie d'avoir accepté de participer à mon jury de thèse.

C'est un honneur d'avoir dans ce jury un praticien du Service de Santé au Travail du CHU et membre d'un groupe institutionnel qui participe à la prévention du risque chimique au CHU.

Ce travail est aussi le fruit de multiples collaborations et rencontres :

À Madame le Docteur Claire Longuenesse

Je te remercie de m'avoir proposé ce sujet passionnant, au départ pour mon mémoire, aujourd'hui devenu mon sujet de thèse. Je pense à nos longues discussions, à ta grande disponibilité et à ton soutien sans faille dans les moments difficiles. J'ai beaucoup appris à tes côtés, que ce soit en médecine du travail ou en pathologie professionnelle. Ce travail n'aurait pas été possible sans toi.

À Madame Claire Cosset, infirmière de l'Équipe Mobile Douleur

À Madame Brigitte Dessomme, statisticienne du Service d'Évaluation Médicale et d'Épidémiologie

Je vous remercie pour vos précieux conseils dans l'élaboration du questionnaire et dans la réalisation des tests statistiques de l'étude.

À Monsieur Sébastien Nicolas, contrôleur de sécurité à la CARSAT des Pays de la Loire

À Messieurs Emmanuel Jouve et Didier Aoustin, contrôleurs de sécurité à la CARSAT de Bretagne

Je vous remercie pour vos analyses météorologiques ainsi que pour nos échanges très enrichissants.

Et je n'oublie pas les soignants et les cadres de santé des services de soins qui ont répondu à l'étude ainsi que les agents de la direction du CHU qui m'ont soutenu. Rien n'aurait été possible sans vous.

Et je terminerai par des remerciements plus personnels :

À Madame le Docteur Dominique Dupas et à Monsieur le Docteur Dominique Tripodi

Je vous remercie pour votre enseignement et vos nombreux conseils, mais surtout de m'avoir transmis votre passion pour la médecine du travail et la pathologie professionnelle.

À toute l'équipe du Service de Santé au Travail du CHU

Travailler avec vous a été un plaisir. Un grand merci pour l'aide et le soutien que vous m'avez apporté dans la réalisation de mon travail de mémoire et thèse.

À toute l'équipe du Centre d'Évaluation et de Traitement de la Douleur du CHU

Je vous remercie sincèrement pour la bienveillance et la passion que vous transmettez aux internes qui passent dans votre service. Si je ne vous avais pas connu, il est fort à parier que je n'aurais pas eu l'idée d'étudier la médecine de la douleur. Vous avez contribué à élargir la vision que je porte sur la médecine et la prise en charge du patient, je n'oublierai jamais ce que vous m'avez apporté.

Aux équipes des services de soins et de médecine du travail où je suis passé

Que ce soit l'équipe de rééducation fonctionnelle de Saint-Jacques ou de la Tourmaline, celle de médecine du travail de Nantes Métropole ou celle de pathologie professionnelle du CHU, je vous remercie pour votre enseignement, l'accueil chaleureux et les bons moments partagés avec vous. Vous m'avez conforté dans mon choix pour la médecine et la santé au travail : je sais grâce à vous que je ne me suis pas trompé.

À tous mes co-internes et amis

- À Boris pour nos longues discussions sur nos travaux respectifs, nos passions communes ou encore sur les doutes et les joies de nos vies. D'une grande patience et d'un immense soutien, c'est un plaisir d'être ton ami et de travailler avec toi pour le mémoire de DESC et le DU de toxicologie.
- À Valentin pour ta bonne humeur et le semestre partagé au CETD, je suis ravi d'avoir à travailler avec toi d'ici quelques mois ; à mes futurs collègues Antoine, Sarah et Sébastien.
- À Élisabeth pour nos sorties, nos discussions philosophiques, pour m'avoir fait découvrir la chorale et j'espère pleins d'autres choses. En toute subjectivité, je suis ravi que tu sois restée à Nantes.
- À Odile pour nos sorties gastronomiques et les bons moments partagés ; à Fanny et Guéric pour la joie de vivre que vous m'apportez lors de nos déjeuners Deliveroo.
- À Loïc pour nos semestres communs, ta bonne humeur, tes bons plats antillais et ta passion communicative pour le yosakoi ; à Victor pour nos séjours touristiques avec Loïc et notre passion commune pour la bonne cuisine.
- À Quentin et Pierre-Yves pour votre humour vivifiant et notre vision partagée sur l'hédonisme.
- À Amélie et Julie, mes anciennes co-référentes des internes ; à Sarah et son harem, Clarène, Pierre-Alban, Rémy, Jean-Baptiste, Mickaël...
- À David, pour les bons moments passés à Nantes, Angers ou ailleurs, tu as toujours été présent y compris dans les moments difficiles, j'ai beaucoup de chance de t'avoir comme ami ; à Peter pour m'avoir fait découvrir le cognac et bientôt la musculation, à Pernille pour tes multiples talents et à Ophélie pour ta bonne humeur, le tout partagé lors de nos soirées jeux interminables ; à la famille de Boris, Juliette, Guillaume, Daniel, Léna, Emmanuel, Maxime, Caroline, Nathalie, Ségo, Armel, Charène et nos sorties mondaines, Laura et nos concerts, Maxime et nos voyages, Valentin, Camille, Florian, Philippe, Mélanie, Clément, Erwan, Jeff, François et l'équipe du Graslin de Folie...

À mes parents et à toute ma famille aux quatre coins du monde. Je suis fier d'être des vôtres !

À mon grand-père André, parti trop tôt alors que je commençais mes études.

Et à tous ceux qui ont croisé mon chemin dans les services, soignants ou patients, de nombreuses rencontres resteront gravées à tout jamais dans ma mémoire.

SOMMAIRE

1.	INTRODUCTION	9
2.	MÉLANGE ÉQUIMOLAIRE D'OXYGÈNE ET DE PROTOXYDE D'AZOTE OU MEOPA	10
2.1.	Historique : du protoxyde d'azote au MEOPA	10
2.2.	Caractéristiques physico-chimiques	11
2.2.1.	Protoxyde d'azote.....	12
2.2.1.1.	Le protoxyde d'azote dans l'environnement.....	12
2.2.1.2.	Propriétés physico-chimiques du protoxyde d'azote	13
2.2.2.	Oxygène.....	15
2.2.2.1.	L'oxygène dans l'environnement	15
2.2.2.2.	Propriétés physico-chimiques du dioxygène	15
2.3.	Pharmacocinétique du protoxyde d'azote	17
2.4.	Pharmacodynamie du protoxyde d'azote	18
2.4.1.	Effets anesthésiques.....	18
2.4.2.	Effets antalgiques	19
2.4.3.	Effets indésirables.....	21
2.4.4.	Effets cardiovasculaires et respiratoires	23
2.4.5.	Effets cérébraux	24
2.4.6.	Effets sur le métabolisme de la vitamine B12	24
2.4.6.1.	Effets hématologiques.....	24
2.4.6.2.	Effets neurologiques.....	26
2.4.7.	Effets sur la reproduction, la grossesse et l'allaitement	27
2.4.8.	Effets mutagènes et cancérogènes.....	29
2.4.9.	Effets sur le système immunitaire	30
2.5.	Autorisation de mise sur le marché	30
2.6.	Présentation et conditionnement	31
2.7.	Utilisation	32
2.7.1.	Modes d'administration	32
2.7.1.1.	Administration en débit contrôlé	32
2.7.1.2.	Administration en débit à la demande.....	33
2.7.2.	Recommandation d'utilisation	34
2.7.2.1.	Recommandations générales	34
2.7.2.2.	Recommandations en pédiatrie	36
2.7.2.3.	Recommandations et consignes de sécurité.....	36
2.8.	Indications thérapeutiques, contre-indications, interactions médicamenteuses et surdosage	37

2.8.1.	Indications thérapeutiques.....	37
2.8.2.	Contre-indications, mises en garde et précautions d'emploi.....	37
2.8.3.	Associations contre-indiquées et à prendre en compte	38
2.8.4.	Surdosage	39
2.9.	Réglementation et implications en santé au travail et sur l'environnement	39
2.9.1.	Réglementation relative aux stupéfiants.....	39
2.9.2.	Définition des Valeurs Limites d'Exposition Professionnelle.....	39
2.9.3.	Valeurs Limites d'Exposition Professionnelle du protoxyde d'azote	40
2.9.4.	Surveillance médicale en santé au travail	42
2.9.5.	Effets sur l'environnement	43
2.9.6.	Des blocs opératoires aux services de soins.....	43
3.	ÉTUDE SUR LE CHU DE NANTES.....	45
3.1.	Objectifs.....	45
3.2.	Matériel et méthode	46
3.2.1.	Choix des services.....	46
3.2.1.1.	Le CHU de Nantes en chiffres	47
3.2.1.2.	Consommation de MEOPA au CHU	50
3.2.1.3.	Évaluation de l'activité des services du CHU.....	56
3.2.2.	Métrologie	57
3.2.2.1.	Choix du matériel et de la méthode.....	58
3.2.2.2.	Prélèvements individuels d'air ou d'air inspiré.....	61
3.2.2.3.	Prélèvements d'air ambiant	62
3.2.2.4.	Calcul des taux pondérés sur 8 heures.....	62
3.2.2.5.	Évaluation des caractéristiques aérauliques des installations de ventilation.....	62
3.2.3.	Éclairage de la pratique sur le terrain par la modélisation numérique.....	63
3.2.4.	Questionnaire	65
3.3.	Résultats	67
3.3.1.	Moyens d'administrations et de recapture des gaz : de ceux utilisés au CHU aux alternatives existantes.....	67
3.3.1.1.	Kit d'administration	67
3.3.1.2.	Valve à la demande	68
3.3.1.3.	Masque et filtre	69
3.3.1.4.	Système Accutron®.....	69
3.3.1.5.	Masque à double enveloppe	70
3.3.1.6.	Autres systèmes de recapture.....	72
3.3.1.7.	Systèmes de destruction	73
3.3.2.	Études de poste	74

3.3.2.1.	Service des urgences pédiatriques	74
3.3.2.2.	Service des brûlés adultes	77
3.3.2.3.	Service de réanimation chirurgicale	79
3.3.2.4.	Autres services	81
3.3.3.	Métriologie	83
3.3.3.1.	Service des urgences pédiatriques	83
3.3.3.2.	Service des brûlés adultes	87
3.3.3.3.	Service de réanimation chirurgicale	89
3.3.3.4.	Interprétation des résultats	92
3.3.4.	Questionnaire	93
3.3.4.1.	Description sociodémographique de la population	93
3.3.4.2.	Formation continue à l'utilisation de MEOPA	95
3.3.4.3.	Expositions	97
3.3.4.4.	Inhalations ressenties lors des expositions	102
3.3.4.5.	Symptômes rythmés par les expositions.....	104
3.3.4.6.	Symptômes en dehors du travail.....	111
3.3.4.7.	Troubles de la procréation.....	112
3.3.4.8.	Qualité de vie perçue au travail.....	113
3.3.4.9.	Pratiques d'utilisation et moyens d'évacuation des gaz expirés.....	114
4.	DISCUSSION	119
5.	CONCLUSION	123
6.	BIBLIOGRAPHIE	125
7.	ANNEXES.....	132
7.1.	Annexe 1 : Classifications des agents cancérogènes	132
7.2.	Annexe 2 : Bouteilles de MEOPA commercialisées	133
7.3.	Annexe 3 : Kits d'administration.....	133
7.4.	Annexe 4 : Recommandations d'utilisation du MEOPA en pédiatrie	134
7.5.	Annexe 5 : Consignes de sécurité et d'utilisation des bouteilles de MEOPA	134
7.6.	Annexe 6 : Les valeurs limites d'exposition professionnelle dans d'autres pays	136
7.7.	Annexe 7 : Méthodologie et appareillage de contrôle d'une installation de ventilation	136
7.8.	Annexe 8 : Autres services du questionnaire	137
7.9.	Annexe 9 : Autres résultats au sujet des expositions	140
7.10.	Annexe 10 : Moyens d'évacuation des gaz expirés et services	142
7.11.	Annexe 11 : Affiche de l'étude	143

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 : Effets “récréatifs” du protoxyde d’azote.	11
Figure 2 : Cycle biogéochimique de l’azote.	13
Figure 3 : Molécule de protoxyde d’azote N ₂ O.	15
Figure 4 : Molécule de dioxygène O ₂	17
Figure 5 : Mécanisme de l’analgésie induite par le protoxyde d’azote.	20
Figure 6 : Action analgésique du protoxyde d’azote.	20
Figure 7 : Mécanisme de l’interaction du protoxyde d’azote avec la vitamine B12.	25
Figure 8 : Code couleur des bouteilles de MEOPA.	32
Figure 9 : Schéma du montage d’administration du MEOPA avec une valve unidirectionnelle.	33
Figure 10 : Montage d’administration du MEOPA avec une valve à la demande.	34
Figure 11 : Affiche illustrant le principe de précaution ALARA.	42
Figure 12 : Nouvel hôpital : il ouvrira ses portes en 2026.	46
Figure 13 : Capacité d’accueil du CHU en 2017.	47
Figure 14 : Effectif global du CHU en 2017.	48
Figure 15 : Effectif médical du CHU en 2017.	49
Figure 16 : Effectif non médical du CHU en 2017.	50
Figure 17 : Consommation de MEOPA au CHU de 2014 à 2017 : services.	51
Figure 18 : Consommation de MEOPA au CHU de 2014 à 2017 : obus.	52
Figure 19 : Consommation de MEOPA au CHU de 2014 à 2017 : litres.	53
Figure 20 : Consommation de MEOPA au CHU de 2014 à 2017 : moyenne en obus.	54
Figure 21 : Consommation de MEOPA au CHU de 2014 à 2017 : moyenne en litres n°1.	54
Figure 22 : Consommation de MEOPA au CHU de 2014 à 2017 : moyenne en litres n°2.	55
Figure 23 : Consommation de MEOPA au CHU de 2014 à 2017 : poids de la pédiatrie.	56
Figure 24 : L’évolution de l’activité des services consommateurs au CHU de 2014 à 2017.	57
Figure 25 : Matériel utilisé en métrologie.	59
Figure 26 : Schéma illustrant un tube de prélèvement au zéolithe.	60
Figure 27 : Matériel de prélèvement utilisé pour notre étude.	60
Figure 28 : Matériel de mesure aéraulique.	63
Figure 29 : Simulations de concentrations en N ₂ O par la MFN.	64
Figure 30 : Kits d’administration Intersurgical.	67
Figure 31 : Kit d’administration Intersurgical réutilisable pour odontologie.	68
Figure 32 : Montage d’administration du MEOPA avec le système Accutron®.	70
Figure 33 : Schéma d’un masque double enveloppe Medicvent.	71
Figure 34 : Centrale d’aspiration mobile et masque double enveloppe Medicvent.	72
Figure 35 : Service des urgences pédiatriques.	76
Figure 36 : Service des brûlés adultes.	78
Figure 37 : Service de réanimation chirurgicale.	80
Figure 38 : Autres services.	82
Figure 39 : Indice global de pollution (I _g).	93
Figure 40 : Intervenants dans la formation à l’utilisation de MEOPA.	97
Figure 41 : Fréquence des expositions au MEOPA par fonction.	99
Figure 42 : Rôle des soignants au cours d’actes exposants au MEOPA.	101
Figure 43 : Principales situations d’administration de MEOPA.	102
Figure 44 : Nombre de symptômes rythmés par les expositions au MEOPA.	106
Figure 45 : Nombre de symptômes en dehors du travail.	111
Figure 46 : Associations médicamenteuses et alternatives au MEOPA.	118

Tableau 1 : Principales caractéristiques physico-chimiques du protoxyde d'azote.	14
Tableau 2 : Principales caractéristiques physico-chimiques du dioxygène.	16
Tableau 3 : Effets indésirables à court terme du MEOPA.	22
Tableau 4 : VLEP et VLCT du protoxyde d'azote dans différents pays.	41
Tableau 5 : Suivi du personnel des urgences pédiatriques.	83
Tableau 6 : Suivi détaillé du personnel des urgences pédiatriques.	84
Tableau 7 : Caractéristiques aérauliques de la ventilation des urgences pédiatriques.	86
Tableau 8 : Suivi du personnel en balnéothérapie des brûlés adultes.	87
Tableau 9 : Suivi détaillé du personnel en balnéothérapie des brûlés adultes.	88
Tableau 10 : Suivi du personnel en réanimation chirurgicale.	89
Tableau 11 : Suivi détaillé du personnel en réanimation chirurgicale.	90
Tableau 12 : Caractéristiques aérauliques de la ventilation en réanimation chirurgicale.	91
Tableau 13 : Caractéristiques socio-démographiques de la population.	94
Tableau 14 : Taux de formation à l'utilisation de MEOPA.	96
Tableau 15 : Fréquence des expositions au MEOPA en nombre moyen d'actes.	98
Tableau 16 : Temps moyen d'administration de MEOPA.	100
Tableau 17 : Perception d'une inhalation lors des administrations de MEOPA.	103
Tableau 18 : Avis et explications des soignants quant à leur impression d'inhaler du MEOPA.	104
Tableau 19 : Facteurs pouvant induire la déclaration de symptômes rythmés par les expositions au MEOPA.	105
Tableau 20 : Facteurs pouvant induire la déclaration de céphalées ou raideurs de nuque.	107
Tableau 21 : Facteurs pouvant induire la déclaration de bouffées de chaleur.	108
Tableau 22 : Facteurs pouvant induire la déclaration de vertiges.	109
Tableau 23 : Facteurs pouvant induire la déclaration de nausées.	110
Tableau 24 : Facteurs pouvant induire la déclaration de difficultés à concevoir.	112
Tableau 25 : Facteurs pouvant induire la déclaration de fausses couches spontanées.	113
Tableau 26 : Moyens d'évacuation des gaz expirés et symptômes rythmés par les administrations.	115
Tableau 27 : Pratiques professionnelles d'utilisation du MEOPA.	115
Tableau 28 : Bouteilles de MEOPA commercialisées.	133
Tableau 29 : Méthodologie et appareillage de contrôle d'une installation.	136
Tableau 30 : Déclaration d'au moins un symptôme lors d'une exposition au MEOPA dans les autres unités.	138
Tableau 31 : Fréquence des expositions au MEOPA en nombre moyen d'actes dans les autres unités.	139
Tableau 32 : Fréquence des expositions de MEOPA en nombre moyen d'heures.	141
Tableau 33 : Moyens d'évacuation des gaz expirés et services.	142

LISTE DES ABRÉVIATIONS, DES SIGLES ET DES ACRONYMES

ACGIH : American Conference of Governmental Industrial Hygienists
AMM : Autorisation de Mise sur le Marché
ANSES : Agence Nationale de Sécurité Sanitaire et de l'alimentation, de l'environnement et du travail
ANSM : Agence Nationale de Sécurité du Médicament et des produits de santé
ARS : Agence Régionale de Santé
ATC : classification Anatomique, Thérapeutique et Chimique
CARSAT : Caisse d'Assurance Retraite et de Santé Au Travail
CAM : Concentration Alvéolaire Minimale
CAS : Chemical Abstracts Service
CEIP : Centre d'Évaluation et d'Information sur la Pharmacodépendance
CLUD/CLUD-SP : Comité de Lutte contre la Douleur - Soins Palliatifs
CNA : Caisse Nationale d'Assurance en cas d'accidents
CRAMIF : Caisse Régionale d'Assurance Maladie d'Ile-de-France
CRF : Corticotropin Releasing Hormone
CRPV : Centre Régional sur la PharmacoVigilance
CSS : Conseil Supérieur de la Santé
CTP : Comité Technique de Pharmacovigilance
ECHA : European Chemical Agency
ENIGMA : Evaluation of Nitrous oxide in the Gas Mixture for Anesthesia
EPP : Évaluation des Pratiques Professionnelles
ETO : Échographie cardiaque Trans-Œsophagienne
ETP : Équivalent Temps Plein
FDS : Fiche de Données de Sécurité
GABA : Acide Gamma-AminoButyrique
GnRH : Gonadotropin Releasing Hormone
HAD : Hospitalisation À Domicile
INRS : Institut National de Recherche et de Sécurité
LICO : Laboratoire Interrégional de Chimie de l'Ouest
MEOPA : Mélange Équimolaire d'Oxygène et de Protoxyde d'Azote
MFN : Mécanique des Fluides Numériques
N₂O : oxyde de diazote ou protoxyde d'azote
NFS : Numération Formule Sanguine
NIOSH : National Institute for Occupational Safety and Health
NOAEL : No Observed Adverse Effect Level
NOx : oxydes d'azote
ppm : partie par million
SAP : Sédation Analgésie Procédurale
SEGA : Système d'Évacuation des Gaz Anesthésiques
VLCT : Valeur Limite d'exposition professionnelle de Courte Durée
VLEP : Valeur Limite d'Exposition Professionnelle
VME : Valeur Moyenne d'Exposition

1. INTRODUCTION

Le MEOPA, Mélange Équimolaire d'Oxygène et de Protoxyde d'Azote, fait partie de l'arsenal thérapeutique antalgique des soignants français depuis le début des années 2000. Souvent présenté comme un produit simple d'utilisation, bien toléré par les patients et sans risque pour les soignants, il est de plus en plus largement utilisé en milieu de soins, que ce soit en structure hospitalière ou extra-hospitalière, depuis sa sortie de la réserve hospitalière en 2009.

Si les données de la littérature sont nombreuses au sujet du protoxyde d'azote, les études pour la plupart rétrospectives ont apporté des conclusions différentes, et concernent essentiellement les blocs opératoires et les services d'odontologie, alors que celles faisant l'analyse des risques professionnels dans les services de soins sont plus rares. Mais dès la fin des années 1970, aux États-Unis et plus tardivement en France, les autorités ont mené une politique de prévention en fixant des valeurs limites d'exposition dans l'air et en recommandant des mesures de réduction de la pollution par les gaz et vapeurs anesthésiques. Pour autant, la question des pratiques d'utilisation et des risques professionnels liés au protoxyde d'azote fait toujours débat. Des campagnes de mesures récentes, menées par la Caisse d'Assurance Retraite et de la Santé au Travail (CARSAT) et l'Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS), ont montré des niveaux d'exposition professionnelle au protoxyde d'azote supérieurs aux recommandations disponibles. Devant les interrogations des professionnels sur les risques liés à l'exposition professionnelle potentielle au MEOPA, un groupe de travail national a été constitué, réunissant l'INRS et la CARSAT, avec la collaboration des fournisseurs et des sociétés savantes médicales. C'est ainsi que nous tenterons de répondre, au cours d'une première partie, à certaines de ces interrogations, de faire l'état des lieux des connaissances du MEOPA et d'aborder les implications en santé au travail d'une utilisation professionnelle.

Dans ce contexte de questionnement sur les risques, le Service de Santé au Travail du CHU de Nantes a mis en place un groupe de travail associant la CARSAT, l'INRS et le Comité de Lutte contre la Douleur - Soins Palliatifs (CLUD-SP) pour évaluer les expositions professionnelles au MEOPA dans l'ensemble des unités utilisatrices. Pour ce faire, une cartographie du risque, l'identification des plus gros utilisateurs et des prélèvements atmosphériques ont été réalisés dans certains services. Un questionnaire a également été diffusé aux soignants pour évaluer les pratiques professionnelles et les éventuels symptômes ressentis lors de l'utilisation de MEOPA. Cette étude, dont l'objectif était d'identifier des axes d'amélioration pour limiter les expositions professionnelles et les risques sur la santé, sera détaillée dans une seconde partie, avec la présentation et l'analyse des résultats métrologiques et du questionnaire. Puis nous développerons dans la discussion les principales perspectives d'amélioration que l'on peut retenir de cette étude.

2. MÉLANGE ÉQUIMOLAIRE D'OXYGÈNE ET DE PROTOXYDE D'AZOTE OU MEOPA

2.1. Historique : du protoxyde d'azote au MEOPA

Le protoxyde d'azote est isolé en 1772 par le pasteur britannique Joseph Priestley, principalement connu pour ses travaux en chimie et physique et deux ans avant sa découverte de l'oxygène. Il est ensuite étudié en 1798 par le physicien et chimiste britannique Humphry Davy qui découvre ses propriétés euphorisantes pour lesquelles il sera utilisé comme "gaz hilarant" dans les foires dès la fin du 18^{ème} siècle.

Ses propriétés anesthésiantes sont découvertes en 1844 par le dentiste américain Horace Wells alors qu'il assiste à une séance d'inhalation menée par le directeur de cirque Gardner Quincy Colton, lorsqu'un des participants, Samuel Cooley, se blesse à la jambe sans en ressentir la douleur après avoir inhalé le gaz. Wells l'expérimente avec succès en se faisant extraire une dent avec l'aide de Colton et du dentiste John Riggs. Cependant, ses démonstrations devant un public médical à Hartford et à Harvard sont un échec faute de préparation. Devant les recherches et démonstrations réussies du dentiste américain William Thomas Green Morton avec l'éther diéthylique en 1846 et de l'obstétricien britannique James Young Simpson avec le chloroforme en 1847, le protoxyde d'azote va progressivement tomber en désuétude(1-3).

Si le protoxyde d'azote n'est plus utilisé à des fins médicales, il l'est encore à des fins récréatives. Mais l'usage médical du gaz est remis à l'honneur par Colton et ses associés, les dentistes John et William Allen, en créant en 1863 la "Colton Dental Association" à New York où les interventions dentaires se pratiquent sous inhalation de protoxyde d'azote. De 1864 à 1897, 193 800 patients ont bénéficié de cette technique(4).

Aucun incident n'est à déplorer jusqu'en 1873 où se produit le premier décès par asphyxie, puisque les patients ne recevaient que du protoxyde d'azote pur lors de l'administration. Ce phénomène, qui disparaît lors de l'inhalation d'un mélange du gaz avec de l'oxygène, est décrit dans les travaux du chimiste allemand Ludimar Hermann en 1864, 1865 et 1867, soit plus d'un an avant que le chirurgien américain Edmund Andrews ne suggère d'utiliser un mélange de protoxyde d'azote et d'oxygène(5). C'est à la suite de recherches pour réduire les effets secondaires dus à l'hypoxie et pour l'obtenir le même niveau d'analgésie avec un mélange de protoxyde d'azote et d'oxygène qu'avec du protoxyde d'azote pur, que le physiologiste français Paul Bert, inventeur du scaphandre et élève de Claude Bernard, a conclu qu'il fallait augmenter la pression d'administration. Malgré ses travaux, il n'obtient qu'une analgésie sans anesthésie complète, ce qui limite l'utilisation du protoxyde d'azote à des interventions peu douloureuses ou à une administration associée à des produits plus puissants.

En 1961, en collaboration avec la British Oxygen Company, l'obstétricien britannique Mike Tunstall publie une étude dans la revue The Lancet sur un mélange stable d'oxygène et de protoxyde d'azote à 50% qu'il nomme "ENTONOX[®]"^a. C'est donc à la fin des années 1970 en Angleterre qu'apparaît l'utilisation du Mélange Équimolaire d'Oxygène et de Protoxyde d'Azote (MEOPA), contenant 50% de chacun des deux gaz.

En France, son utilisation a débuté dans les années 1980, en obstétrique, au SAMU et dans les transports de patients douloureux. L'ANSM (Agence Nationale de Sécurité du Médicament et des produits de santé, ancienne AFSSAPS) lui délivre une ATU (Attestation Temporaire d'Utilisation) de type cohorte le 30

^a: Dr Michel Olivier. ENTONOX[®] : L'analgésie alliée à l'anxiolyse. [En ligne] https://www.chu-toulouse.fr/IMG/pdf/Intro_M._Olivier.pdf. Consulté le 09/09/18.

mars 1998, ce qui autorise son utilisation par des non anesthésistes mais exclut l'obstétrique et la dentisterie. Une AMM (Autorisation de Mise sur le Marché) est finalement délivrée le 21 septembre 2001.

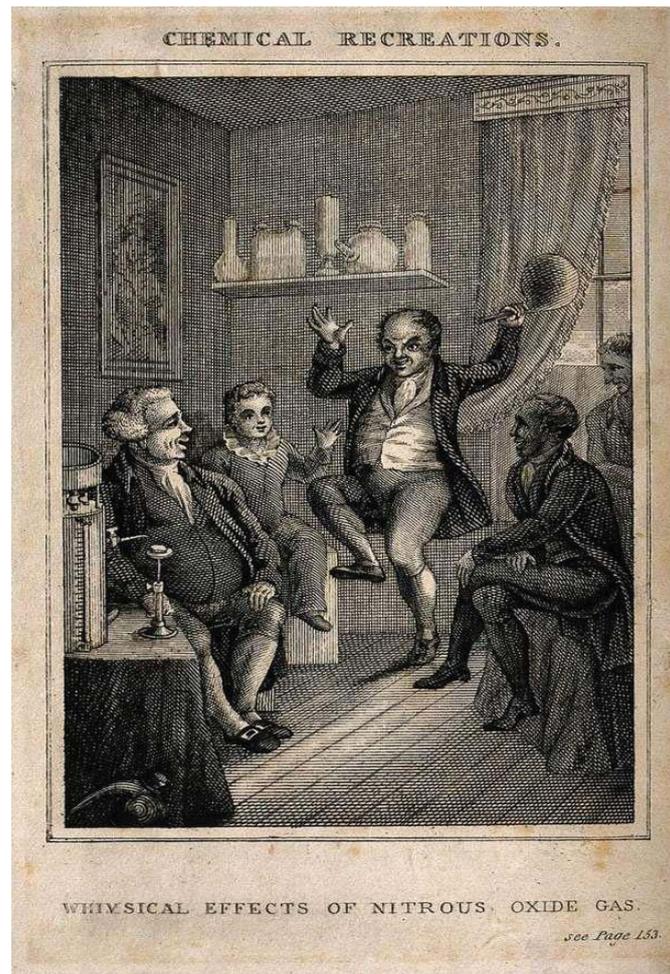


Figure 1 : Effets "récréatifs" du protoxyde d'azote.

Gravure du 19ème siècle^a.

2.2. Caractéristiques physico-chimiques

Le Mélange Équimolaire d'Oxygène et de Protoxyde d'Azote, abrégé en MEOPA en français, est un mélange gazeux composé à part égale d'oxygène et de protoxyde d'azote. La substance active pharmacologiquement est le protoxyde d'azote.

Le MEOPA fait partie du grand groupe des anesthésiques et appartient à la famille des autres anesthésiques généraux. C'est un analgésique non morphinique. Le code de la molécule dans la classification ATC de l'OMS (Anatomique, Thérapeutique et Chimique) est le N01AX63(6).

^a: Marie-Céline Ray. Du gaz hilarant pur traiter la dépression. [En ligne] <https://www.futura-sciences.com/sante/actualites/maladie-gaz-hilarant-traiter-depression-56391>. Consulté le 09/09/18.

C'est un gaz incolore et pratiquement inodore. Sa densité calculée est de 1,34, intermédiaire entre celle du protoxyde d'azote et de l'oxygène. Il est donc plus lourd que l'air et peut s'accumuler dans les endroits confinés, en particulier dans les points bas. Son potentiel de réchauffement climatique calculé est à 172,5^a. Ses propriétés sont celles de ses deux constituants, détaillées dans les paragraphes qui suivent.

2.2.1. Protoxyde d'azote

Le protoxyde d'azote est également connu sous le nom d'oxyde nitreux, d'oxyde de diazote ou de "gaz hilarant".

2.2.1.1. Le protoxyde d'azote dans l'environnement

On le retrouve dans l'air à hauteur de 0,5 ppm (partie par million en volume dans l'air de sorte que 1 ppm = 1 mL/m³).

Les sols et les océans sont les principales sources naturelles de production de ce gaz et responsables des deux tiers du total des émissions. Le tiers restant provient de l'activité humaine, essentiellement de l'agriculture mais aussi de la combustion de matières organiques et de combustibles fossiles, de l'industrie, des dépôts atmosphériques et du traitement des eaux usées.

Dans le domaine agricole, la source majeure d'émissions de N₂O est liée aux phénomènes de nitrification et dénitrification dans les sols cultivés en lien avec l'utilisation d'engrais azotés minéraux et la gestion des déjections animales (engrais, fumier, lisier, résidus de récolte). D'autres sources importantes ont été identifiées comme certains procédés industriels et certains équipements de combustion (fixes ou mobiles).

Depuis les années 1990, on observe une baisse d'environ 35% des émissions de protoxyde d'azote due à la mise en œuvre d'un contrôle des émissions par le secteur de l'industrie chimique. En revanche, la part attribuée au trafic routier est en forte hausse du fait de la généralisation des pots catalytiques sur les voitures^b.

^a: PanGas. Fiche de données de sécurité du protoxyde d'azote. [En ligne]

https://www.pangas.ch/fr/images/pangas_sdb_protoxyde-dazote-50_f_tcm557-115106.pdf. Consulté le 09/09/18.

^b: ADEME, Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie. Le protoxyde d'azote – N₂O. [En ligne]

<https://www.ademe.fr/entreprises-monde-agricole/reduire-impacts/reduire-emissions-polluants/dossier/protoxyde-dazote-n2o/definition-sources-demissions-impacts-protoxyde-dazote>. Consulté le 09/09/18.

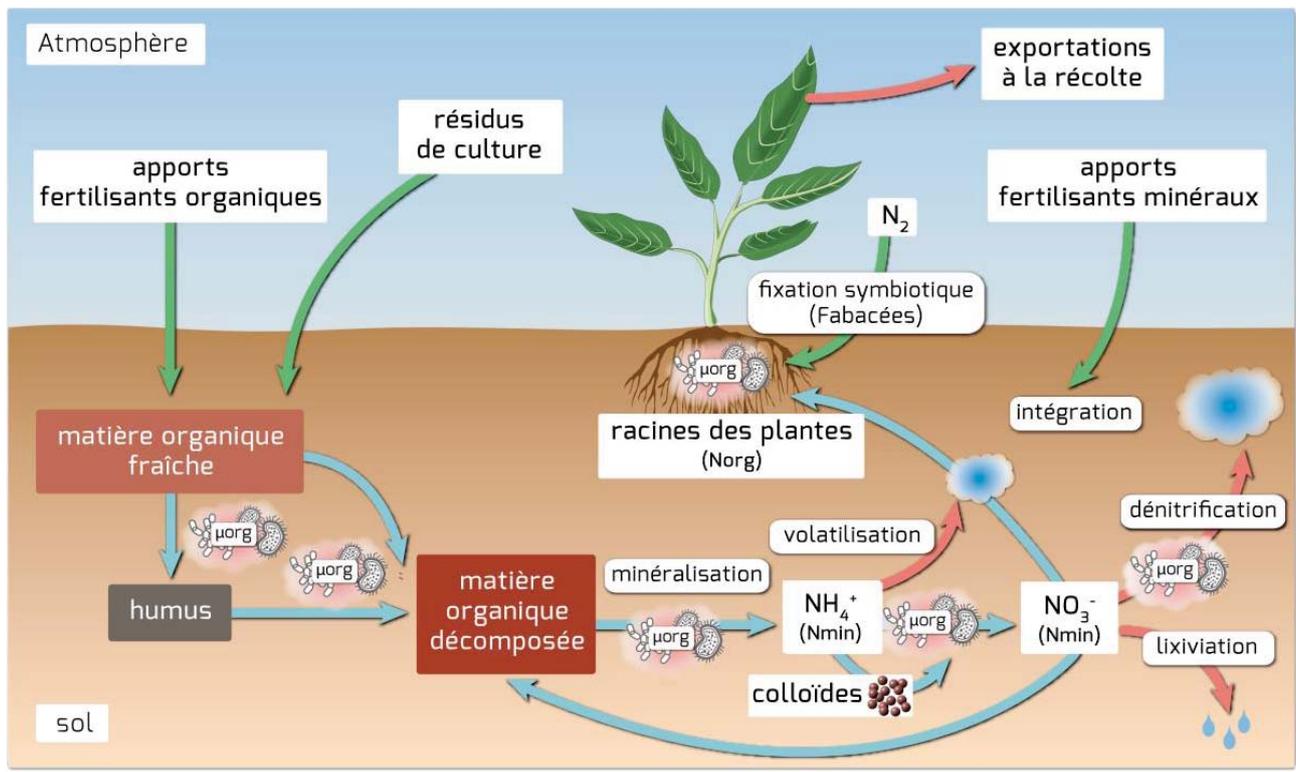


Figure 2 : Cycle biogéochimique de l'azote.

Source disponible en bas de page^a.

2.2.1.2. Propriétés physico-chimiques du protoxyde d'azote

Dans les conditions normales de température et de pression, le protoxyde d'azote se présente comme un gaz incolore, d'odeur et de saveur légèrement sucrées et de formule chimique N_2O . C'est un gaz très volatil et soluble dans l'eau, l'éthanol, le chloroforme et l'acide sulfurique(7).

Il se forme en portant à ébullition à $252^\circ C$ du nitrate d'ammonium (NH_4NO_3) qui se décompose selon l'équation suivante : $NH_4NO_3 > N_2O + 2 H_2O$ (6).

Le numéro CAS (enregistrement unique de la molécule auprès de la banque de données du Chemical Abstracts Service) est le 10024-97-2. Sa densité est de 1,53. Sa température critique est à $36,37^\circ C$ et sa pression critique à 72,45 bars (soit 7245 kPa). Ces deux caractéristiques, de température et de pression, sont obtenues au point critique du diagramme thermodynamique pression-température de la molécule, c'est-à-dire le point à partir duquel les propriétés des phases liquide et gazeuse deviennent identiques^b.

Le protoxyde d'azote est un produit stable dans les conditions normales de température et de pression. A haute température (dès $575^\circ C$ ou même $300^\circ C$ pour le produit sous pression), il se décompose en azote et oxygène. Au-delà de $649^\circ C$, la décomposition peut devenir explosive et conduire à la formation d'oxyde nitrique (NO) et de dioxyde d'azote (NO_2), substances toxiques. Cette décomposition de nature

^a: Educagri. Schéma complet du cycle de l'azote. [En ligne] http://editions.educagri.fr/num/NEDU/N2-dynamique_azote/co/N2-AA3-G6.html. Consulté le 09/09/18.

^b: Gas Encyclopedia by Air Liquide. Protoxyde d'azote. [En ligne] http://www.inrs.fr/publications/bdd/fichetox/fiche.html?refINRS=FICHETOX_267. Consulté le 09/09/18.

exothermique peut s'accélérer en présence de catalyseurs et se produire à des températures encore plus basses avec une augmentation de pression.

C'est un gaz ininflammable, mais un puissant oxydant, comburant parfois à l'origine de réactions jusqu'à l'incendie ou l'explosion, au contact de solides (bois, papier, graisses, huiles) et de nombreux gaz et substances combustibles. Certains matériaux non combustibles peuvent le devenir dans une atmosphère enrichie en protoxyde d'azote.

Il n'est pas corrosif pour les métaux et alliages métalliques habituels. Il ne réagit pas avec les plastiques les plus courants mais peut attaquer certains élastomères, responsable d'un gonflement important avec risque d'incendie et d'explosion.

Formule	N ₂ O
N° CAS (Chemical Abstracts Service)	10024-97-2
N° ECHA (European Chemical Agency)	100.030.017
N° EINECS (European Inventory of Existing Commercial chemical Substances)	233-032-0
N° RTECS (Registry of Toxic Effects of Chemical Substances)	QX1350000
Code ATC (Anatomique, Thérapeutique et Chimique)	N01AX13
Etat physique ordinaire	Gazeux
Masse molaire	44,013 g/mol
Point de fusion	-90,8°C
Point d'ébullition	-88,5°C
Solubilité dans l'eau	0,15 g/100 mL à 15°C
Densité relative (eau = 1)	1,23 g/cm ³ au point d'ébullition
Densité de vapeur relative (air = 1)	1,53
Point critique	
Température	36,37°C
Pression	72,45 bars
Masse volumique	452,011 kg/m ³
Tension de vapeur ou Pression de vapeur saturante	5070 à 5850 kPa à 20°C 5719,51 kPa à 25°C >7000 kPa à 50°C
Coefficient de partage n-octanol/eau (log P/Kow)	0,36
Température de décomposition	575°C
Potentiel de réchauffement climatique (CO ₂ = 1 pour 100 ans)	298

Tableau 1 : Principales caractéristiques physico-chimiques du protoxyde d'azote.

Le protoxyde d'azote est disponible sous la forme d'un gaz comprimé, liquéfié sous sa propre pression de vapeur (5070 kPa à 21,1°C) ou d'un liquide réfrigéré (à -17°C et 1848 kPa). Il est stocké sous pression dans des bouteilles ou réservoirs en acier, seul ou associé à une autre substance comme pour le MEOPA. S'il est présent sous forme liquide en bouteille, il devient gazeux au moment de sa libération.

A ce jour, le N₂O n'a fait l'objet d'aucune classification européenne harmonisée. Les fournisseurs ont procédé à des classifications volontaires dans les dossiers transmis à l'Agence Européenne des produits Chimiques (ECHA)(8). Pour autant, le caractère comburant du gaz est identifié sur la Fiche de Données de Sécurité (FDS) du produit par la phrase de risque de danger H270 "peut provoquer ou aggraver un incendie ; comburant". Les phrases de risque de danger H280 "contient un gaz sous pression ; peut exploser sous l'effet de la chaleur" et H336 "peut provoquer somnolence et vertiges" sont aussi mentionnées. Des conseils de prudence sont aussi renseignés, sur le pouvoir comburant avec les mentions P220, P244, P370, P376 et P403 ; et sur le conditionnement sous pression du gaz avec les mentions P282, P336 et P315. Ces mentions s'appuient sur le règlement européen Classification, Labelling and Packaging of substances and mixtures (CLP) issu des recommandations de l'ONU dans le Système Général Harmonisé (SGH)^a.

^a: Ministère de la Transition écologique et solidaire. La réglementation REACH. [En ligne] <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/reglementation-reach>. Consulté le 09/09/18.

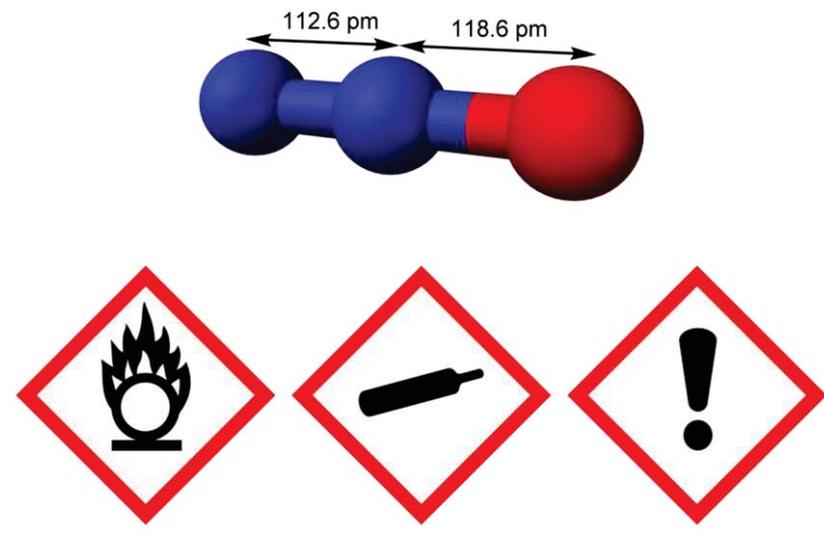


Figure 3 : Molécule de protoxyde d'azote N₂O.

C'est un corps composé. Les pictogrammes SGH relatifs aux dangers du gaz sont représentés sous la molécule : respectivement, c'est un gaz comburant (SGH03), stocké sous pression (SGH04) et narcotique (SGH07)^a.

2.2.2. Oxygène

L'oxygène est un élément chimique qui a été découvert indépendamment en 1772 par le chimiste suédois-allemand Carl Wilhelm Scheele et en 1774 par Joseph Priestley. Il a été nommé ainsi en 1777 par le chimiste français Antoine Lavoisier.

2.2.2.1. L'oxygène dans l'environnement

C'est l'élément chimique le plus abondant sur Terre. En poids, il représente 89% de la masse des océans sous la forme d'eau (H₂O), 46% de la masse de l'écorce terrestre principalement sous forme d'oxydes et silicates, 23% de la masse de l'air sous forme de dioxygène (O₂) ou d'ozone (O₃), ou encore 62% du corps humain. Sous la forme la plus connue du dioxygène, il constitue 21% du volume de l'atmosphère terrestre.

Le dioxygène est indispensable à la plupart des formes de vie actuelles, nécessaire au fonctionnement des cellules lors du processus de "respiration cellulaire". Ce sont les bactéries anaérobies productrices de dioxygène qui ont oxydé l'atmosphère primitive, puis l'ont enrichie en dioxygène. Ce phénomène appelé "Grande Oxydation" remonte à 2,4 milliards d'années.

2.2.2.2. Propriétés physico-chimiques du dioxygène

Dans les conditions normales de température et de pression, le dioxygène se présente comme un gaz incolore, inodore, insipide et de formule chimique O₂.

^a: Wikipédia. Protoxyde d'azote. [En ligne] https://www.wikiwand.com/fr/Protoxyde_d'azote. Consulté le 09/09/18.

Il est obtenu de manière industrielle principalement par séparation cryogénique des composés de l'air, c'est-à-dire par une liquéfaction de l'air suivie d'une distillation fractionnée dans des colonnes. L'autre procédé de production industrielle (5%), non cryogénique, est appelé Vacuum-Pressure Swing Adsorption (VPSA) ou adsorption par alternance de pression et de vide^a.

Le numéro CAS est le 7782-44-7. Sa densité est de 1,11.

Le dioxygène est un produit stable dans les conditions normales de température et de pression. Cependant, il est thermodynamiquement très réactif et la plupart de ses réactions sont fortement exothermiques. Cette réactivité n'a généralement pas lieu à température ambiante.

Comme le protoxyde d'azote, c'est un gaz ininflammable, mais un puissant oxydant et comburant.

Formule	O ₂
N° CAS (Chemical Abstracts Service)	7782-44-7
N° ECHA (European Chemical Agency)	100.029.051
N° EINECS (European Inventory of Existing Commercial chemical Substances)	231-956-9
N° RTECS (Registry of Toxic Effects of Chemical Substances)	RS2060000
Code ATC (Anatomique, Thérapeutique et Chimique)	V03AN01
Etat physique ordinaire	Gazeux
Masse molaire	31,999 g/mol
Point de fusion	-218,78°C
Point d'ébullition	-182,96°C
Solubilité dans l'eau	3,1 mL/100 mL à 20°C
Densité relative (eau = 1)	1,14 g/cm ³ au point d'ébullition
Densité de vapeur relative (air = 1)	1,11
Point critique	
Température	-118,57°C
Pression	50,43 bars
Masse volumique	435,95 kg/m ³
Tension de vapeur ou Pression de vapeur saturante	8039316,60 kPa à 25°C
Coefficient de partage n-octanol/eau (log P/Kow)	0,65
Température de décomposition	Sans objet
Potentiel de réchauffement climatique (CO ₂ = 1)	Sans objet

Tableau 2 : Principales caractéristiques physico-chimiques du dioxygène.

Il est 20 fois moins soluble dans le sang que le protoxyde d'azote, transporté à l'aide de l'hémoglobine présente dans les hématies pour être distribué aux différents organes et tissus et permettre la respiration cellulaire. Il est nécessaire de l'associer au protoxyde d'azote dans le MEOPA pour éviter le phénomène d'hypoxie, principal risque lié à son utilisation.

L'inhalation continue de concentrations égales ou supérieures à 75% à pression atmosphérique peut causer une toux, des maux de gorge, une congestion nasale, des nausées, des étourdissements, une difficulté respiratoire. L'inhalation d'oxygène pur sous pression peut causer des lésions pulmonaires et affecter le système nerveux central avec des étourdissements, une ataxie, des troubles visuels et auditifs, des contractures musculaires et des convulsions. Respirer de l'oxygène sous pression augmente le temps d'adaptation à l'obscurité et réduit la vision périphérique^b.

Le caractère inflammable et comburant du gaz est identifié sur la FDS du produit par la phrase de risque de danger H270 "peut provoquer ou aggraver un incendie ; comburant". La phrase de risque de danger H280 "contient un gaz sous pression ; peut exploser sous l'effet de la chaleur" est aussi mentionnée. Des

^a: Wikipédia. Dioxygène. [En ligne]: <https://www.wikiwand.com/fr/Dioxyg%C3%A8ne>. Consulté le 09/09/18.

^b: PraxAir. Fiche de données de sécurité de l'oxygène. [En ligne] <http://www.praxair.ca/-/media/corporate/praxair-canada/documents-fr/safety-data-sheets-fr/oxygne-fds-f-4638-.pdf?la=fr-ca>. Consulté le 09/09/18.

conseils de prudence sont aussi renseignés, sur le pouvoir comburant avec les mentions P220, P244, P370, P376 et P403.

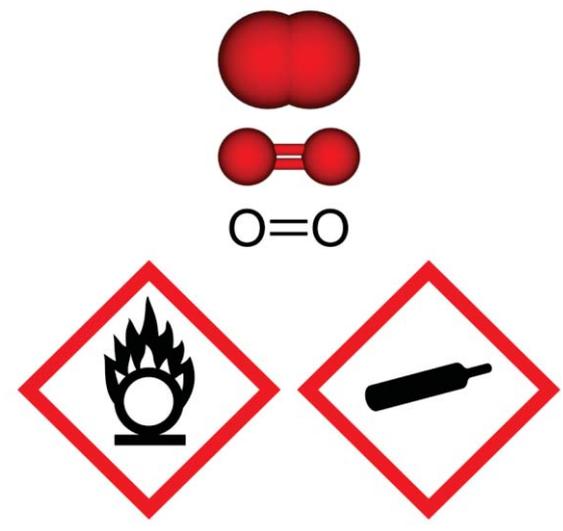


Figure 4 : Molécule de dioxygène O_2 .

C'est un corps simple. Les pictogrammes SGH relatifs aux dangers du gaz sont représentés sous la molécule : respectivement, c'est un gaz comburant (SGH03) et stocké sous pression (SGH04)^a.

2.3. Pharmacocinétique du protoxyde d'azote

L'absorption du protoxyde d'azote, et donc du MEOPA, se fait principalement par voie respiratoire, mais aussi par voie percutanée et digestive(9). La concentration de la fraction alvéolaire atteint 90% de la concentration de la fraction inspirée en moins de 5 minutes et s'explique par la faible solubilité dans les tissus adipeux. Il ne se fixe pas sur l'hémoglobine, il est transporté sous forme dissoute dans le sang. Dans le sang, 35 fois plus soluble que l'azote et 20 fois plus que l'oxygène, son coefficient de solubilité de Bunsen est de 0,47, ce qui lui confère la cinétique la plus rapide de tous les agents inhalatoires(10). Il est très vite capté et va franchir rapidement la barrière alvéolo-capillaire pour diffuser dans l'ensemble de l'organisme.

Le passage de l'alvéole vers le compartiment sanguin est proportionnel à la différence de pression partielle de part et d'autre de la membrane alvéolo-capillaire, la liposolubilité de l'agent (c'est-à-dire sa capacité à passer les barrières cellulaires) et la ventilation alvéolaire. Le passage du compartiment sanguin vers les tissus varie selon le débit cardiaque, la perfusion tissulaire, la différence de pression partielle sang/organe et la solubilité de l'agent dans les différents organes (coefficient de partage). L'équilibre sanguin est atteint après 15 minutes d'administration à 70% et après 1 heure, les tissus musculaires ne sont saturés qu'à 54%, les tissus adipeux à 29% et les tissus de soutien à 23%.

Le protoxyde d'azote pénètre dans les espaces aériques 30 fois plus vite que l'azote ne peut en sortir(11). Cette très forte diffusibilité du protoxyde d'azote, par rapport à celle de l'air, peut être responsable d'une augmentation du volume des structures aux parois distensibles et d'une élévation de la pression intracavitaire des structures aux parois rigides, à l'origine de certaines de ses contre-indications. Le protoxyde

^a: Wikipédia. Dioxygène. [En ligne]: <https://www.wikiwand.com/fr/Dioxyg%C3%A8ne>. Consulté le 09/09/18.

d'azote passe la barrière placentaire et apparaît chez le fœtus après 6 minutes avec un rapport de concentrations sanguines mère/fœtus de 0,6.

L'élimination rapide, en quelques minutes, se fait principalement sous forme inchangée par voie pulmonaire, et a minima, par voie cutanée (6 à 7% de la quantité qui quitte les alvéoles pulmonaires) et urinaire. Seize heures après la fin de l'exposition, il est complètement éliminé du sang.

2.4. Pharmacodynamie du protoxyde d'azote

Le protoxyde d'azote est considéré comme inerte sur le plan métabolique, non métabolisé ou transformé par l'organisme en dehors de certaines réactions de réduction en radicaux azotés dans l'intestin en milieu anaérobie^a.

La faible solubilité du protoxyde d'azote dans le sang et les tissus explique la forte diffusion du gaz du compartiment sanguin vers l'alvéole pulmonaire, la rapidité de son effet antalgique et une fin des effets en quelques minutes après l'arrêt de l'administration. Elle explique aussi l'élévation de la concentration de protoxyde d'azote et la diminution de la fraction d'oxygène dans l'alvéole à l'arrêt de l'administration, à l'origine du risque d'hypoxémie de rediffusion (effet Finck) en cas d'hypoventilation ou d'administration de protoxyde d'azote sans oxygène(11,12).

2.4.1. Effets anesthésiques

La très faible liposolubilité du protoxyde d'azote, avec une Concentration Alvéolaire Minimale (CAM) égale à 105% vol à une atmosphère, explique sa faible puissance anesthésique. La CAM correspond à la concentration alvéolaire à laquelle 50% des patients n'ont pas de réaction motrice lors d'un stimulus douloureux. Plus elle est basse, plus l'agent anesthésique est efficace(6). A titre de comparaison, l'isoflurane, puissant agent anesthésique de la famille des halogénés, à une CAM à 1,15% vol. Cependant, associé à d'autres gaz anesthésiques, il conduit à une diminution de la CAM de ces derniers (effet deuxième gaz), ce qui réduit la dose consommée de co-anesthésique et la durée de l'induction(13), raisons pour lesquelles il est toujours employé en anesthésie malgré son faible pouvoir anesthésiant.

Pour autant, l'innocuité et l'intérêt médical et économique de son utilisation en anesthésie restent des débats. Si certaines études indiquent une association entre le protoxyde d'azote et la diminution du risque de réveil per-opératoire (entropie haute), d'autres font état d'un risque accru, notamment en pédiatrie, dû à l'effet antalgique du gaz qui pourrait conduire à un allègement de la composante hypnotique(14). Mais plus récemment, une revue de la littérature n'a pas abouti à une conclusion définitive sur ce risque faute de données suffisantes(11,15). Même incertitude pour l'incidence du gaz sur l'Indice Bi-Spectral (BIS), indice de 0 à 100 qui renseigne sur la profondeur de l'anesthésie par l'analyse de 4 variables d'un électroencéphalogramme (EEG)(11). Et en ce qui concerne le réveil post-opératoire, des études ont montré que l'utilisation du protoxyde d'azote en deuxième gaz entraîne une récupération plus rapide que lorsque l'anesthésie est maintenue par des concentrations plus élevées en agent anesthésique primaire(13).

^a: CNESST, Commission des Normes, de l'Équité, de la Santé et de la Sécurité au Travail. Protoxyde d'azote. [En ligne] http://www.csst.qc.ca/prevention/reptox/Pages/fiche-complete.aspx?no_produit=331488. Consulté le 09/09/18.

2.4.2. Effets antalgiques

Le protoxyde d'azote a un effet antalgique dose-dépendant qui apparaît à partir d'une concentration inspirée de 10%. Mais au-delà de 40%, c'est l'action hypnotique qui prédomine, ce qui peut rendre l'évaluation analgésique difficile. Une équianalgésie à 15 mg de morphine par voie intramusculaire est retenue pour une fraction inspirée de 25%. Le pic d'effet antalgique est obtenu au bout de 3 à 5 minutes, mais 10 à 30% d'échecs sont observés. D'après une étude de 2005, il semble exister une tolérance rapide aux effets antalgiques qui vont s'estomper progressivement avec la durée de l'administration(16,17).

Le protoxyde d'azote agit sur plusieurs récepteurs du système nerveux. L'implication de la voie opioïde est établie par l'antagonisation partielle des effets du gaz par la naloxone et des interactions se produisent aussi avec les substances qui agissent sur les récepteurs opioïdes(18). Il a aussi un effet stimulant sur les récepteurs dopaminergiques ; un effet inhibiteur non compétitif sur les récepteurs glutamatergiques N-méthyl-D-aspartate (NMDA)(11) qui modulent la transmission du message nociceptif et limitent les mécanismes d'hypersensibilisation à la douleur ; et une action double sur les récepteurs gabaergiques de type A (GABA-A) puisqu'il inhibe les récepteurs supra-spinaux et active les récepteurs spinaux, le GABA étant le principal neurotransmetteur inhibiteur (sédation), l'effet anesthésique et anxiolytique du MEOPA lui est associé(17,19). L'action anxiolytique du protoxyde d'azote peut s'expliquer par l'activation du site de fixation des benzodiazépines sur les récepteurs gabaergiques car cet effet est bloqué par le flumazénil (antagoniste compétitif des récepteurs des benzodiazépines)(20).

Au niveau supra-spinal, le protoxyde d'azote active les neurones opioïdes de la substance grise périaqueducule par la libération de corticolibérine (CRF) depuis l'hypothalamus et des neurones noradrénergiques du locus coeruleus et de certaines zones du tronc cérébral(17). La libération d'opioïdes endogènes qui s'en suit dans les noyaux du pont, inhibe les neurones gabaergiques impliqués dans l'inhibition tonique des neurones noradrénergiques des voies neuronales descendantes. Ces voies qui se retrouvent activées, bloquent la transmission nociceptive par la libération de noradrénaline au niveau de la corne dorsale de la moelle, sur les récepteurs α 1-adrénergiques des interneurons gabaergiques et α 2B-adrénergiques des deutoneurons de la douleur.

Au niveau spinal, le protoxyde d'azote diminue les réflexes mais ne semble pas exercer d'effet analgésique. Au niveau cérébral, il exerce une action non spécifique sur les membranes lipidiques, une action sur les synapses cholinergiques, une action sur les récepteurs NMDA (comme la kétamine) et une action sur les récepteurs opioïdes. Il entraîne aussi une baisse de l'activité électrique de la formation réticulée du tronc cérébral par le biais des systèmes inhibiteurs supra-pontiques, dont le thalamus qui engendre à forte concentration une amnésie chez certains patients(21).

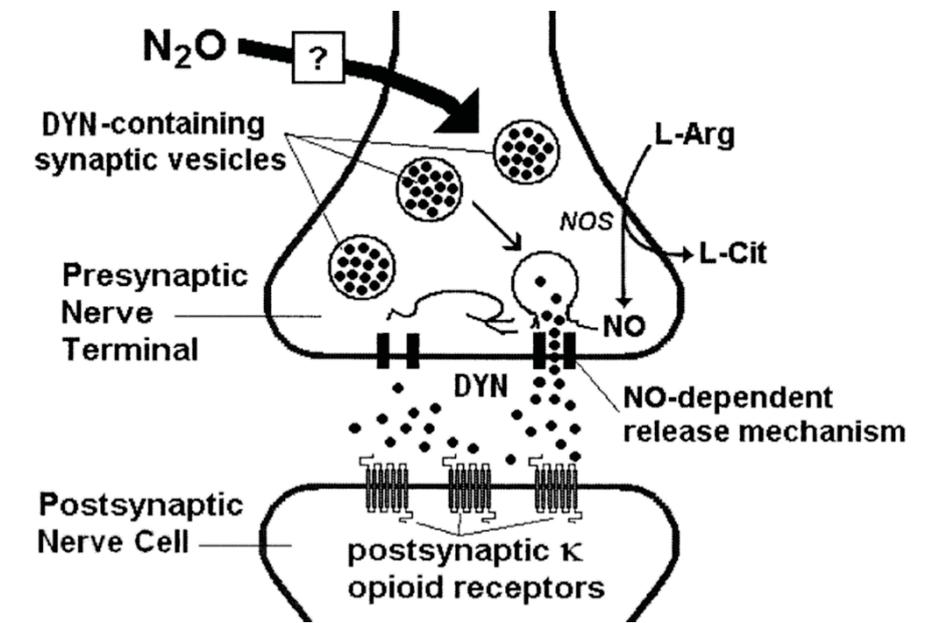


Figure 5 : Mécanisme de l'analgésie induite par le protoxyde d'azote.

Il est estimé que le N_2O stimule la libération neuronale d'opioïdes endogènes ou de dynorphines (DYN) mais le déclenchement de ce processus n'est pas encore clairement identifié. Le bouton terminal du neurone absorbe la L-arginine (L-Arg) qui est convertie par l'enzyme oxyde nitrique synthase (NOS) en L-citrulline (L-Cit) et en oxyde nitrique (NO), NO qui semble être impliqué dans la libération synaptique de dynorphines. La dynorphine traverse la fente synaptique et active les récepteurs post-synaptiques opioïdiques(20).

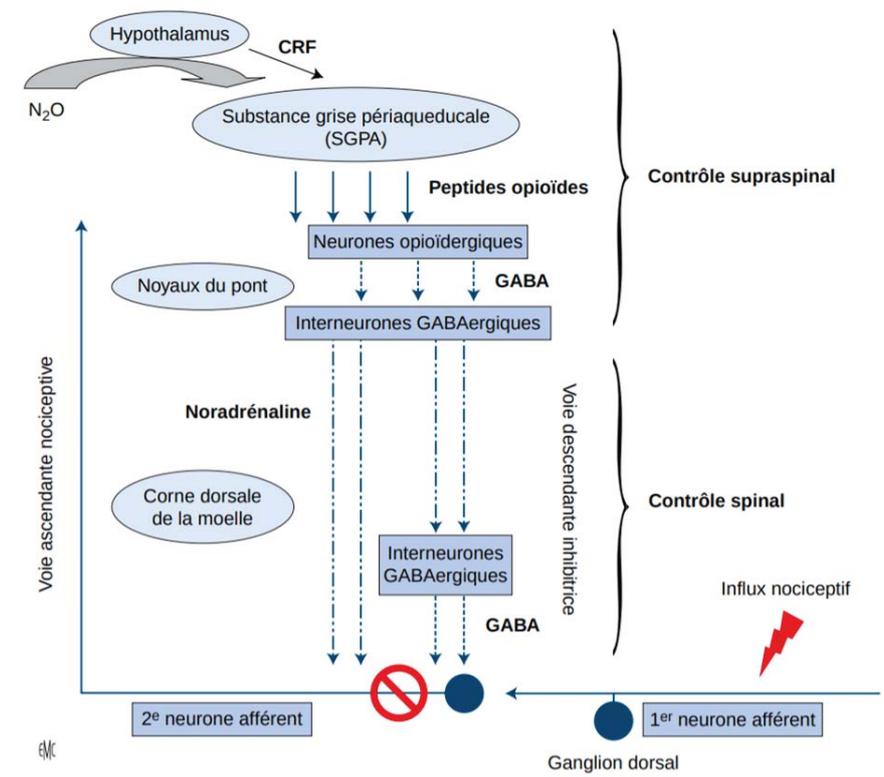


Figure 6 : Action analgésique du protoxyde d'azote.

Légende : CRF pour Corticotropin Releasing Factor, GABA pour Acide Gamma-AminoButyrique (neurotransmetteur inhibiteur)(17).

En ce qui concerne la douleur aiguë, la Sédation Analgésie Procédurale (SAP) qui consiste en l'utilisation de produits analgésiques, anesthésiques et dissociatifs pour traiter la douleur et l'anxiété induites par les soins, peut être obtenue par l'utilisation de protoxyde d'azote(22). Dans une revue de 2016, les auteurs nous rappellent qu'une SAP idéale comprend une sédation et une analgésie, une rapidité d'action et un retour rapide à l'état initial après l'arrêt du traitement, un maintien des fonctions cardiovasculaires et respiratoires, et un effet amnésique chez le patient(23,24). Ainsi, le protoxyde d'azote se place en agent pharmacologique idéal, par son action antalgique rapide, efficace et sûre, et par son élimination rapide après l'administration.

En ce qui concerne la douleur chronique, un modèle animal a démontré que l'administration concomitante de protoxyde d'azote à de fortes doses d'opioïdes limiterait les phénomènes d'hyperalgésie et d'allodynie consécutifs aux opioïdes, ainsi que la tolérance aiguë en période post-opératoire(25). Pour autant, deux études de 2013 et 2015, sur l'utilité du protoxyde d'azote dans la prévention de la douleur chronique post-chirurgicale et dans le traitement de la lombalgie chronique, n'ont pas retrouvé d'effets significatifs(11,26,27).

Plusieurs travaux ont évalué l'utilisation du protoxyde d'azote chez les patientes des services obstétricaux. Ainsi en 2014, une revue de la littérature portant sur 58 études analysant les effets du gaz sur le contrôle de la douleur et la satisfaction de l'accouchement, a montré que le protoxyde d'azote pouvait avoir un effet antalgique comparable voire meilleur que celui des antalgiques intra-veineux(11, 28), et avec un niveau de satisfaction souvent comparable voire plus élevé qu'avec l'analgésie neuraxiale(29). Pour autant, la variabilité des résultats obtenus sur l'efficacité des antalgiques, n'a pas permis d'apporter aux auteurs un niveau de preuve suffisant pour en tirer des conclusions(30). Et bien que le soulagement de la douleur contribue fortement à la satisfaction du soin, selon certains auteurs, d'autres facteurs semblent intervenir comme l'évitement des gestes invasifs, le souhait de conserver la capacité à se maîtriser, se concentrer, penser et participer à l'accouchement ; mais aussi la préservation des sensations corporelles, de la mobilité et de la force, ou encore les attentes personnelles et la qualité de la relation patient-soignant(11,30). Sur un tout autre registre, une étude s'est intéressée au taux de conversion dans l'utilisation du protoxyde d'azote vers l'analgésie neuraxiale. Si le taux retrouvé était significatif, celui-ci était plus faible dans le groupe des parturientes sous protoxyde d'azote (63,2%) que dans le groupe sans gaz (85,1%)(11,31). Les raisons évoquées étaient une analgésie inadéquate, des effets indésirables et un épuisement. Pour autant, il semble tout à fait justifié et raisonnable de considérer le protoxyde d'azote comme une modalité antalgique efficace chez certains sous-groupes de femmes enceintes(30,32).

Et en ce qui concerne les soins dentaires, une étude de 2015 portant sur 1058 patients âgés de 1 à 23 ans, a montré que 98% d'entre eux ne se souvenaient pas de l'injection de l'anesthésique (bélénophobie)(33,34).

2.4.3. Effets indésirables

Plusieurs effets indésirables sont décrits dans la littérature médicale. Il s'agit le plus souvent d'effets aigus bénins et transitoires, à type de troubles digestifs et neurocognitifs. Si le protoxyde d'azote est le plus souvent livré en mélange équimolaire (MEOPA) ou à 70% de protoxyde d'azote et 50% d'oxygène, les deux concentrations sont efficaces pour soulager la douleur et n'entraînent aucune différence significative dans les effets indésirables(24,35). Par contre, une concentration de protoxyde d'azote plus élevée apportera une sédation plus importante(24), et il est établi qu'une concentration d'oxygène de 30% est nécessaire pour éviter l'hypoxie(23). En effet, à des concentrations très élevées de protoxyde d'azote, la survenue d'une

hypoxie peut être responsable de lésions cérébrales, voire d'un arrêt cardiaque, et des cas de décès lors d'inhalations volontaires (usage récréatif) ont été décrits.

Les effets indésirables suivants, retrouvés dans le résumé des caractéristiques du produit spécifique au MEOPA, peuvent survenir au cours de l'administration et disparaissent généralement dans les minutes qui suivent son arrêt.

Fréquents ($\geq 1/100$ à $1/10$)	Affections gastro-intestinales	Nausées, vomissements
	Affections du système nerveux	Sensations vertigineuses, étourdissement
Peu fréquents ($> 1/1000$ à $1/100$)	Affections gastro-intestinales	Météorisme, augmentation du volume de gaz dans l'intestin
	Affections de l'oreille et du labyrinthe	Sensation de pression dans l'oreille moyenne
	Affections du système nerveux	Paresthésies, sédation excessive, modification des perceptions sensorielles
	Affections psychiatriques	Agitation, angoisse, euphorie, rêves
Indéterminé (ne peut être estimé sur la base des données disponibles)	Affections du système nerveux	Dépression respiratoire, céphalées, convulsions

Tableau 3 : Effets indésirables à court terme du MEOPA.

Source disponible en bas de page^a.

Parmi les effets secondaires les plus courants, on retrouve les nausées et vomissements, y compris post-opératoires (essentiellement en chirurgie gynécologique), que l'on pourrait expliquer par l'action du protoxyde d'azote sur la distension intestinale et les récepteurs dopaminergiques et opioïdiques du cerveau(11), mais peut-être aussi par l'augmentation des pressions dans l'oreille moyenne(25,36). Pour autant, certaines études n'ont pas montré d'effet significatif du gaz administré lors d'une chirurgie sur le risque de distension abdominale, de retard à la reprise du transit et de vomissements post-opératoires (13,37) ; alors que d'autres études ont montré que son omission per-opératoire n'a qu'un impact modeste ou négligeable sur l'incidence des vomissements post-opératoires, sauf en cas de risque élevé de survenue. Et bien que ces effets soient fréquents en post-opératoire et en dehors du bloc, ils peuvent être facilement évités par la prise d'antiémétiques à visée prophylactique(11).

De nombreuses études et revues de la littérature ont évalué l'utilisation du protoxyde d'azote chez les patients des services des urgences pédiatriques. Ainsi en 2000, une étude portant sur 1019 enfants âgés de 0 à 18 ans, a montré l'innocuité et l'efficacité du protoxyde d'azote sur l'analgésie et l'anxiolyse des patients aux urgences pédiatriques ; seuls des effets indésirables mineurs ont été observés chez 37,2% des patients et ont régressé dans les 5 minutes qui ont suivi l'arrêt du gaz(11,38). En 2006, une étude portant sur 35828 administrations, a confirmé l'innocuité du gaz aux urgences pédiatriques (82%) mais aussi chez les adultes (18%) ; des effets indésirables ont été identifiés chez 4,4% (n = 1581) des administrations, et 27 événements graves rapportés dont 9 attribuables au gaz seul(39,40). Et en 2011, une autre étude portant sur 7802 administrations d'un mélange à 70% de protoxyde d'azote faites auprès de 5779 enfants âgés de 33 jours à 18 ans, a montré l'innocuité de ce dosage à tous les âges et des effets indésirables ont été constatés chez 4,3% des patients ; toutefois, ces auteurs ont constaté que ces événements étaient plus fréquents lorsque la durée de l'administration dépassait les 15 minutes(40,41).

^a: Base de données publique des médicaments. RCP Entonox 170 bar [En ligne] <http://base-donnees-publique.medicaments.gouv.fr/affichageDoc.php?specid=65950491&typedoc=R>. Consulté le 09/09/18.

Et en ce qui concerne les événements indésirables de nature professionnelle, le suivi national du MEOPA présenté au Comité Technique de Pharmacovigilance (CTP) de janvier 2014 et février 2017, a recensé plusieurs cas d'exposition professionnelle déclarés, dont les effets rapportés sont identiques à ceux retrouvés chez les patients utilisateurs.

Des effets chroniques survenant après une exposition prolongée et/ou répétée ont également été décrits mais leur fréquence n'est pas déterminée. Ce sont des atteintes hématologiques, des atteintes sévères du système nerveux, des phénomènes de dépendance et des augmentations des pathologies rénales et hépatiques(42). Il existe aussi des effets sur la reproduction, rapportés chez l'homme dans de nombreuses études mais dont les résultats sont souvent controversés. Cependant, des effets significatifs ayant été rapportés chez l'animal, cela implique que les résultats doivent être pris en considération et justifie une utilisation vigilante. Ces différents effets sont précisés plus loin.

L'ANSM rappelle que les professionnels de santé doivent déclarer les effets indésirables suspectés d'être dus à un médicament au Centre Régional de Pharmacovigilance (CRPV) dont ils dépendent, ainsi que les cas d'abus et de pharmacodépendance graves à un Centre d'Évaluation et d'Information sur la Pharmacodépendance (CEIP)(8). Dans le cas d'une erreur médicamenteuse n'ayant pas entraîné d'effet indésirable chez le patient, elle peut être déclarée au guichet des erreurs médicamenteuses de l'ANSM.

Une Évaluation des Pratiques Professionnelles (EPP) réalisée au CHU de Nantes par le CLUD-SP en 2013, a montré que parmi les personnes qui ont constaté des effets secondaires, pendant ou après l'administration du gaz, 3% d'entre elles les ont déclarés au CRPV ou au CEIP.

2.4.4. Effets cardiovasculaires et respiratoires

Le protoxyde d'azote déprime le baroréflexe et a un effet inotrope négatif dose-dépendant compensé par un effet sympathomimétique. La dépression cardiovasculaire reste modérée mais peut être plus importante lors d'une utilisation concomitante de morphinomimétiques.

Ces effets ont été explorés par plusieurs études dont une portant sur 10 patients souffrant de cardiopathie ischémique opérés sous isoflurane, et qui a montré une exacerbation de l'ischémie à l'ajout de 70% de protoxyde d'azote chez 3 des 6 patients pour lesquels elle était apparue à l'utilisation de l'anesthésique primaire(40,43). Une étude portant sur 70 patients opérés de la carotide, a montré que ceux qui ont reçu du protoxyde d'azote à 60% n'avaient pas plus de risque de développer une ischémie(40,44) ; alors qu'une autre étude portant sur 90 patients opérés pour une endartériectomie carotidienne, a montré que ceux qui ont reçu du protoxyde d'azote à 50%, en plus de l'anesthésique primaire, présentaient une ischémie myocardique post-opératoire significativement plus importante que le groupe sans gaz(40,45).

Au niveau pulmonaire, le gaz provoque une élévation modérée des résistances vasculaires avec un risque d'hypoxie par effet shunt lorsqu'elles sont déjà élevées, en particulier chez le jeune enfant. Des accidents hypoxiques peuvent survenir lors d'une administration de mélanges hypoxiques ou à l'arrêt de l'administration en cas d'hypoventilation ou d'administration de protoxyde d'azote sans oxygène (hypoxémie de rediffusion)(46).

2.4.5. Effets cérébraux

Le protoxyde d'azote augmente la pression intra-crânienne du fait de la vasodilatation cérébrale induite, à l'origine de certaines de ses contre-indications. Au niveau cortical, toutes les perceptions sont diminuées et, outre l'effet hilarant bien connu, une amnésie et des effets psychodysléptiques avec euphorie sont possibles. Les fonctions sous-corticales restent préservées, en particulier le réflexe laryngé, ce qui n'oblige pas d'être à jeun lors de l'administration.

Plusieurs études ont évalué l'impact sur le plan psychomoteur d'une exposition aux gaz anesthésiques. En 1976, une étude a montré une diminution significative des capacités de mémorisation, d'attention, de perception audiovisuelle et d'exécution motrice, chez des volontaires sains exposés à des concentrations faibles de protoxyde d'azote et d'halothane, respectivement à 50 ppm et 1 ppm, alors qu'aucun effet n'a été retrouvé pour des concentrations de 25 ppm et 0,5 ppm(47). Ces valeurs ont été prises en compte pour fixer les premiers seuils d'exposition professionnelle aux États-Unis. Si la plupart des travaux ultérieurs n'ont pas confirmé ces résultats, ils ont néanmoins retrouvé des tests psychomoteurs altérés à partir d'un taux d'exposition de 10%(48,40) ou des scores EuroQuest (test évaluant les symptômes neurotoxiques) dégradés à partir d'un niveau d'exposition de 25 ppm(50). Pour ce qui est du personnel soignant, notamment ceux des salles d'opération, il existerait même une tolérance aux effets des gaz anesthésiques(51).

2.4.6. Effets sur le métabolisme de la vitamine B12

2.4.6.1. Effets hématologiques

Au départ considéré comme dépourvu de toute toxicité, c'est en 1956 que l'utilisation prolongée d'une concentration à 500000 ppm pendant 2 à 3 semaines, comme analgésique et sédatif chez des patients ventilés atteints de tétanos, a mis en évidence des interactions sur l'hématopoïèse et le système nerveux(7,52).

Le protoxyde d'azote inactive la vitamine B12 (cobalamine) en agissant par oxydation sur son noyau cobalt. Or, la vitamine B12 est indispensable dans le métabolisme et le renouvellement cellulaire avec la synthèse des acides gras, de l'ADN et la production d'énergie (anabolisme) ; mais aussi dans le système nerveux pour sa participation à la synthèse des neurotransmetteurs et au maintien de l'intégrité de la gaine de myéline. La vitamine B12 est le cofacteur de la méthionine synthase (5-méthyltétrahydrofolate homocystéine méthyltransférase), enzyme cytoplasmique présente dans la plupart des cellules et permettant la formation de méthionine et de tétrahydrofolate, indispensables à la synthèse de l'ADN et de la myéline. Ainsi, les tissus à renouvellement rapide sont préférentiellement affectés par ce déficit, en particulier les cellules sanguines.

Cet effet inhibiteur apparaît après 4 à 5 minutes chez le rat pour une concentration de 1000 ppm et après 45 minutes chez l'homme pour une concentration supérieure à 400 ppm(7). Une disparition complète de l'activité enzymatique est observable au bout de 6 heures chez le rat(53). A titre de comparaison, le patient inhale un gaz à 500000 ppm par m³(12).

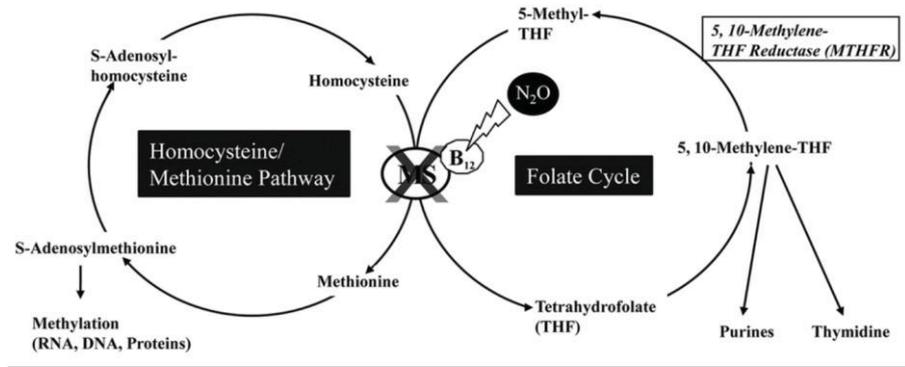


Figure 7 : Mécanisme de l'interaction du protoxyde d'azote avec la vitamine B12.

Ce mécanisme inhibe la formation de méthionine et de tétrahydrofolate (THF) par l'oxydation de la cobalt(I)-amine en cobalt(II)-amine (vitamine B12), cofacteur nécessaire au fonctionnement de la méthionine synthase. Il s'en suit alors une augmentation de l'homocystéine, précurseur métabolique de la méthionine. L'acide folique (vitamine B9) est le précurseur métabolique des tétrahydrofolates après réduction et méthylation(54).

La toxicité hématologique s'observe dès 12 heures d'exposition(55) mais concerne surtout expositions supérieures à 24 heures(56). Néanmoins, la répétition brève sur de courtes périodes des inhalations de protoxyde d'azote peut aboutir à un effet cumulatif, surtout lorsque les fonctions hématopoïétiques sont déjà altérées, chez un patient carencé en vitamine B12 par exemple. Cela donne un tableau semblable à la maladie de Biermer avec une anémie mégaloblastique dès l'administration de protoxyde d'azote durant 15 minutes, 3 fois par jour, sur 4 jours. On observe plus rarement une agranulocytose, une leucopénie, une thrombopénie, parfois compliquée d'un syndrome hémorragique, ou une aplasie(52).

Chez l'animal, aucun effet sur l'hématopoïèse n'a été rapporté en-deçà de 10000 ppm chez le rat et 150000 ppm chez le singe(7).

Le diagnostic clinique et la confirmation biologique d'une carence en vitamine B12 ne sont pas toujours faciles. En présence de signes cliniques évocateurs ou en cas d'anémie normochrome macrocytaire arégénérative ou de macrocytose isolée, le dosage plasmatique de la vitamine B12 est indiqué. Cependant, les faux positifs et faux négatifs étant fréquents, certains auteurs invitent à la prudence et à ne pas écarter le diagnostic en cas de signes cliniques compatibles. Il est également possible de doser l'acide méthylmalonique (spécifique de la vitamine B12) et l'homocystéine totale (moins spécifique, varie aussi avec la vitamine B9) plasmatiques, élevés chez plus de 98% des patients carencés en vitamine B12. Ainsi, le dosage de ces métabolites pourrait être une réponse prudente aux difficultés d'interprétation des résultats biologiques de la vitamine B12 (17,34,57).

Une étude a évalué l'effet du protoxyde d'azote sur les taux plasmatiques d'homocystéine chez 394 patients opérés sous anesthésie générale, et a montré que ceux qui ont reçu du gaz avaient des taux plus élevés, particulièrement après une chirurgie prolongée(58). Ces résultats ont été confirmés par une autre étude portant sur 59 patients souffrant d'une maladie cardiovasculaire opérés sous anesthésie générale. De plus, un dysfonctionnement endothélial a été observé chez ceux qui ont reçu du protoxyde d'azote par une modification de la dilatation de l'artère brachiale et de son débit sanguin(59).

Enfin, si ce risque doit être évalué chez les patients susceptibles d'être carencés (voir les contre-indications à l'utilisation du MEOPA), la question mérite d'être posée chez les soignants. En effet, si une étude de 1982, faite auprès d'anesthésistes exposés à des concentrations de 150 à 400 ppm, n'a montré aucune réduction de l'activité de la méthionine synthase(60), une étude plus récente de 2007 a retrouvé une baisse

de la vitamine B12 associée à une hausse de l'homocystéine totale chez des infirmières de bloc exposées au-delà des valeurs recommandées (180 mg/m^3)(61). Il convient donc d'éviter des expositions prolongées et/ou répétées au protoxyde d'azote chez les sujets à risque, et toute suspicion de carence justifie un dépistage et un traitement préventif en vitamine B12 et B9(17,62).

En 2003, le décès d'un enfant de 4 mois présentant une hyperhomocystéinémie après 2 anesthésies utilisant le protoxyde d'azote, a été expliqué par un déficit génétique rare. En 2006 et 2008, deux études ont identifiés que les patients qui présentent une activité enzymatique réduite de la 5,10-méthyltétrahydrofolate réductase (MTHFR) liée à un polymorphisme génétique, ont plus de risque de développer une hyperhomocystéinémie après l'administration de protoxyde d'azote(54,63). En 2014, une hyperhomocystéinémie sans hypovitaminémie B12 a été identifiée chez une patiente drépanocytaire de 10 ans, admise pour des crises algiques sur une ostéomyélite multifocale et bénéficiant d'une utilisation quotidienne de plusieurs heures de MEOPA pendant 7 mois. Les auteurs invitent à la prudence quant au risque sur le métabolisme de la vitamine B12, dont l'hyperhomocystéinémie qui majore le risque thrombotique par un état pro-coagulant et une dysfonction endothéliale, en particulier chez le drépanocytaire(64).

Le risque cardiovasculaire lié à l'hyperhomocystéinémie induite par le protoxyde d'azote a été évalué par plusieurs travaux dont les études ENIGMA 1 et 2 (Evaluation of Nitrous oxide in the Gas Mixture for Anesthesia) portant respectivement sur 2050 et 7112 patients randomisés qui ont subi une chirurgie (non cardiaque) avec une anesthésie générale d'au moins 2 heures, avec ou sans protoxyde d'azote, et sans coronaropathie pour ENIGMA 1 et avec coronaropathie connue ou soupçonnée pour ENIGMA 2. Dans la première étude, une augmentation significative du nombre d'infarctus du myocarde, mais non significative pour les thrombo-embolies veineuses, les accidents vasculaires cérébraux et les décès, a été constaté dans les 2 jours suivant la chirurgie, alors que la seconde étude n'a pas retrouvé de surrisque de décès ou de complications cardiovasculaires(11,40,65). À long terme, seul le surrisque d'infarctus du myocarde semble persister dans la cohorte ENIGMA 1, mais pas dans la seconde(66). On retrouve des conclusions similaires aux résultats de la cohorte ENIGMA 2 dans les études GALA (General Anesthesia compared with Local Anesthesia for carotid surgery) et POISE (PeriOperative Ischemic Evaluation)(11).

2.4.6.2. Effets neurologiques

La toxicité neurologique concerne des expositions exceptionnellement élevées et fréquentes, et se manifeste par des troubles neurologiques à type de polyneuropathies, myélonuropathies et paraparésies. Des paresthésies et faiblesses musculaires ont été rapportées chez des sujets toxicomanes par "poppers" ou "whippets"(67), et chez dentistes. Dans une étude réalisée en 1981 sur 36650 dentistes et 30547 assistantes dentaires, les manifestations neurologiques étaient 4 fois plus fréquentes chez les dentistes et 3 fois plus chez les assistantes dentaires(68,69). Des inhalations brèves en cas de déficit majeur en vitamine B12 peuvent donner un tableau de sclérose combinée de la moelle avec une dégénérescence des cordons postérieurs et latéraux par démyélinisation des fibres longues. Cela se traduit par une polyneuropathie sensitivo-motrice avec des dysesthésies des membres inférieurs et des troubles de la sensibilité profonde avec ataxie. Les cellules nerveuses étant moins rapidement renouvelées, les manifestations neurologiques suivent le plus souvent l'atteinte hématologique, et la récupération tardive s'accompagne parfois de séquelles. L'atteinte médullaire se traduit à l'Imagerie par Résonance Magnétique (IRM) par un hypersignal sur des séquences pondérées en T2(49).

Chez l'animal, des signes neurologiques ont été observés à partir de 700000 ppm chez le rat et 150000 ppm chez le singe(7).

2.4.7. Effets sur la reproduction, la grossesse et l'allaitement

Les effets potentiels sur la reproduction sont ceux qui apparaissent les plus préoccupants car susceptibles de survenir pour des taux d'exposition bas. Pour autant, les résultats des études sur le sujet sont à interpréter avec prudence. Ils sont souvent controversés du fait d'expositions multiples (autres gaz anesthésiques par exemple), de la présence d'autres facteurs de risque (stress, travail debout, rayonnements ionisants...) et par la difficulté de définir les niveaux d'exposition et les gaz utilisés par le personnel soignant étudié(9,49).

En 1975 et 1977, une étude a rapporté une incidence élevée d'infertilité chez les femmes anesthésistes (12% contre 6% chez les témoins)(70).

Une étude de 1977 faisant l'analyse de 3 enquêtes conduites aux États-Unis et en Grande-Bretagne dans les années 1970, auprès du personnel médical exerçant dans les salles d'opération, a retrouvé un risque majoré d'avortements spontanés chez les femmes exposées, et une fréquence anormalement élevée de malformations congénitales chez les enfants du personnel des 2 sexes(71). Une revue de la littérature des années 1970 sur des études conduites chez des femmes ayant travaillé avant ou durant leur grossesse dans des salles d'opération, montre une augmentation de la fréquence des avortements spontanés avec un risque relatif faible pouvant être attribué à des biais(72). Une étude de 1985 portant sur les mêmes travaux, a apporté des résultats plus nuancés sans conclusion possible, indiquant le caractère rétrospectif des enquêtes, la présence de facteurs confondants associés, l'absence de mesure exacte des niveaux d'exposition ainsi que le faible taux de réponses aux questionnaires(73).

De 1977 à 1984, une étude prospective a été réalisée en Grande-Bretagne auprès du personnel médical féminin âgé de moins de 40 ans. La fertilité et le taux d'avortement spontané chez les anesthésistes se sont avérés comparables à ceux de leurs consœurs, sans augmentation du risque de malformations congénitales, excepté pour les anomalies cardiaques(74).

En 1980, une étude citée plus haut(42), a révélé une augmentation significative du taux d'avortement spontané et d'anomalie congénitale chez les assistantes exposées au protoxyde d'azote seul (environ 600) par rapport au groupe témoin (environ 30000).

En 1987, une étude rétrospective auprès de 7000 assistantes dentaires en âge de procréer, a montré une augmentation significative du délai de conception en relation avec des durées d'exposition supérieures à 5 heures par semaine sans système d'extraction, mais une augmentation non significative du risque d'avortement spontané pour des durées d'exposition de plus de 3 heures par semaine en atmosphère polluée. Les concentrations de protoxyde d'azote ont été estimées élevées par l'absence de dispositif d'extraction(75,76). Deux études de 1996 ont retrouvé des résultats similaires auprès de 3985 sages-femmes exposées, avec une baisse significative du taux de fertilité chez un petit groupe de sages-femmes enceintes (4,2%) qui ont participé à plus de 30 accouchements par mois au cours desquels du protoxyde d'azote était administré. Par contre, il n'a pas été retrouvée d'augmentation significative du risque d'avortement spontané en cas d'utilisation du protoxyde d'azote, alors que ce risque était significativement augmenté chez les soignantes qui travaillaient en sous-effectif et dont le temps de travail était supérieur à un mi-temps(77,78).

Plus récemment, des études sur le protoxyde d'azote utilisé comme antalgique par des sages-femmes ou des vétérinaires, ont retrouvé une augmentation du nombre d'avortements spontanés et du risque de prématurité et de diminution du poids de naissance chez les femmes vétérinaires(69,79). En 2011, une étude a identifié des anomalies congénitales chez 9,7% des enfants de 9433 infirmières potentiellement exposées aux gaz anesthésiques entre 1990 et 2000(80).

Chez l'animal, des lésions testiculaires, une perturbation des cycles œstraux, une baisse de la fertilité et des effets sur le développement ont été décrits chez le rat(7). Une exposition unique à 500000 ppm ou 750000 ppm peut être embryotoxique et tératogène au 8ème et 9ème jour de gestation. L'exposition

continue est embryotoxique, fœtotoxique et tératogène à 1000 ppm. Par contre, lors d'expositions intermittentes, aucun effet sur le développement n'est observé jusqu'à 1000 ppm. Une étude sur des fœtus de rats exposés au protoxyde d'azote, a montré une atteinte sur le développement dès 1000 ppm et une hypofertilité chez les mâles dans les 30 jours précédant l'accouplement dès 5000 ppm(81). A partir de ces résultats, une NOAEL (No Observed Adverse Effect Level, dose sans effet toxique observable) de 500 ppm a été déterminée(7). Une autre étude menée chez des rats des 2 sexes, exposés à des concentrations croissantes de protoxyde d'azote, n'a pas retrouvé de réduction de la fertilité chez les femelles et mâles exposés(82). Chez la souris, aucun effet n'a été observé sur la fertilité ou le développement après exposition jusqu'à 300000 ppm ou 500000 ppm. De même que chez l'homme, les résultats de ces études doivent être considérés avec précaution, et leur extrapolation à l'homme est aussi délicate. Plus récemment en 2003, une étude in-vitro a rapporté que le protoxyde d'azote diminue l'action des neurones à gonadolibérine (GnRH ou Gonadotrophin-Releasing Hormone) impliqués dans la fonction gonadique pituitaire, ce qui pourrait expliquer une baisse de fertilité en cas de forte exposition(17,83).

Ainsi, en 1996, le Conseil d'Évaluation des Technologies de la Santé du Québec (CETS, actuellement INESSS) a publié un rapport sur les risques de l'exposition professionnelle aux gaz anesthésiques pour la femme enceinte et le fœtus(49). Le groupe d'experts a souligné la difficulté dans l'évaluation épidémiologique du risque de malformations congénitales secondaires à l'exposition professionnelle aux gaz anesthésiques compte tenu de leur faible prévalence, leur hétérogénéité et les nombreux biais identifiés, et a retenu une absence de relation cohérente. Ces conclusions portaient sur l'analyse de 19 études épidémiologiques avec le calcul d'un risque relatif de 1,51 (IC à 95% : 1,42-1,61), correspondant à une augmentation de 51% du risque d'avortement spontané chez les femmes exposées aux gaz anesthésiques, corrigé à 22,5% en tenant compte du risque de base de 15% chez les femmes non exposées.

En France, la même année, le groupe pluridisciplinaire "Anesthésie et qualité de l'air" a rédigé un guide pour la prévention des expositions professionnelles aux gaz et vapeurs anesthésiques, édité par la Caisse Régionale d'Assurance Maladie d'Ile-de-France (CRAMIF). Les experts français ont conclu à un effet nocif probable des gaz anesthésiques incitant à maîtriser les niveaux d'exposition(49).

En Suisse, la Caisse Nationale d'Assurance en cas d'accidents (CNA/SUVA) a publié en 1998 un guide sur les conditions de travail lors de l'exposition aux gaz anesthésiques. Pour les experts suisses, les études conduites sur des collectifs exposés à des niveaux modérés de gaz anesthésiques indiquent que les risques pour la grossesse et les troubles de la fertilité sont nettement moins probables que ne le laissent supposer les études des années 1970. Ils précisent également que, malgré ce risque réduit, il est indispensable de maintenir l'exposition du personnel aux gaz anesthésiques en-dessous des valeurs limites fixées par les hygiénistes du travail et que, si celles-ci sont respectées, on peut admettre qu'il n'existe pas de danger pour la santé ni pour le bien-être des travailleurs(49,84).

Aux Pays-Bas, à la demande du ministère des Affaires Sociales, le Conseil de la Santé (GR) a été chargé de classer les substances selon leurs effets sur la reproduction. En l'absence de données épidémiologiques fiables, les experts hollandais ont pris en compte les études animales pour établir leurs recommandations pour les effets sur la fertilité et le développement fœtal. Ils recommandent de classer le protoxyde d'azote en catégorie 3, c'est-à-dire comme substance préoccupante pour la fertilité dans l'espèce humaine.

Parallèlement à ces travaux, de nombreuses études et revues de la littérature ont évalué l'utilisation du protoxyde d'azote chez les patientes des services obstétricaux. Ainsi, certaines d'entre elles ont retrouvé une association entre l'administration du protoxyde d'azote et de brefs épisodes de désaturation entre les contractions. Cela pourrait s'expliquer par les techniques d'auto-administration, responsables d'une hyperventilation associée à une hypocapnie lors des contractions(30). D'autres effets ont été décrits, comme

des nausées, des étourdissements, une somnolence voire exceptionnellement une perte de conscience, ou encore une dépression respiratoire lors de l'association du protoxyde d'azote à des opioïdes systémiques. Quant aux effets indésirables chez le nouveau-né, plusieurs études n'ont pas retrouvé de différence significative entre les enfants nés de mères sous ou sans protoxyde d'azote à l'accouchement, tant sur des paramètres cliniques (score d'Apgar) que biologiques (gaz du sang au cordon ombilical)(30,85). Une étude portant sur 720000 naissances à partir du registre suédois a montré que la fréquence des malformations fœtales congénitales n'est pas plus élevée chez les femmes qui ont reçu du protoxyde d'azote à l'occasion d'une anesthésie chirurgicale pendant le premier trimestre de leur grossesse(19,86–88).

Et au sujet de l'allaitement, si les données disponibles sur l'innocuité de sa poursuite après la réalisation d'une anesthésie sont rares, les caractéristiques pharmacocinétiques des gaz anesthésiques sont rassurantes (demi-vies plasmatiques courtes) et leur excrétion lactée est probablement nulle(88).

Enfin, bien que le protoxyde d'azote ne soit pas classé comme reprotoxique (toxique pour la reproduction) par l'Union Européenne, la fiche DEMETER de l'INRS relève des éléments suffisant d'un effet réel sur la reproduction dans l'espèce humaine. Les principales recommandations de l'INRS sont précisées plus loin. Quant au Centre de Référence sur les Agents Tératogènes (CRAT), ses conclusions se veulent rassurantes quel que soit le terme de la grossesse, et s'appuient sur les résultats de nombreuses études et sur le recul dans l'utilisation du protoxyde d'azote(89).

2.4.8. Effets mutagènes et cancérigènes

Les premières enquêtes épidémiologiques rapportent une incidence accrue de cancers, de leucémies et de lymphomes, mais leur méthodologie est critiquable(49). Ces études ne prennent pas toujours en compte les autres facteurs de risque que sont les expositions aux rayonnements ionisants, les divers produits chimiques, et elles surestiment vraisemblablement le potentiel cancérigène. Une étude de 1980 n'a pas retrouvé d'augmentation significative des cancers chez les 36650 dentistes et 30547 assistantes dentaires suivis(42). Des travaux de 1987 et 1990 n'ont montré aucune incidence particulière de cancers ou d'affections chroniques parmi le personnel exposé(90,91).

Chez l'animal, l'exposition prolongée de rats à de faibles concentrations d'halothane et de protoxyde d'azote (1 ppm et 50 ppm ou 10 ppm et 500 ppm) est responsable d'altérations chromosomiques intéressant les cellules médullaires et les spermatozoïdes, mais ne s'accompagne pas d'une augmentation des néoplasies(92). Il en est de même pour des souris exposées à de plus fortes concentrations de 100000 ppm ou 400000 ppm(93). Plus généralement, les données issues des études animales ne sont pas en faveur d'effets cancérigènes du protoxyde d'azote.

Concernant les effets génotoxiques, plusieurs études ont rapporté une augmentation du nombre d'échanges de chromatides sœurs, de micronoyaux et d'aberrations chromosomiques chez le personnel soignant exposé aux anesthésiques, mais les niveaux étaient très rarement indiqués. Mais comme pour les effets cancérigènes, ces études ne permettent pas d'affirmer le rôle du protoxyde d'azote dans ces effets génotoxiques, puisque les sujets étaient exposés à plusieurs facteurs de risques. Les tests réalisés chez l'animal sont généralement négatifs(7).

L'ACGIH a conclu en l'absence d'effet cancérigène du protoxyde d'azote en le classant dans le groupe A4 qui regroupe les agents non classables comme agents cancérigènes pour l'homme, équivalent de la catégorie 3 du CIRC. Les principales classifications des agents cancérigènes sont présentées en annexe 1.

2.4.9. Effets sur le système immunitaire

Le protoxyde d'azote peut, par son action sur l'hématopoïèse, générer une immunosuppression, effet démontré in-vitro par une diminution de la prolifération des monocytes et une altération du chimiotactisme des polynucléaires(17,94). Certaines études ont montré qu'une exposition conjointe au protoxyde d'azote et à un autre gaz anesthésique, le plus souvent un halogéné comme l'halothane, le desflurane ou l'isoflurane, pouvait induire des modifications de la formule sanguine, avec une variation des lymphocytes B, T (CD2, CD3 et CD4) ou NK. D'autres études ont décrit une inhibition de l'apoptose neutrophile(17).

Plus récemment, une étude faisait état d'une augmentation des lésions de l'ADN leucocytaire et des infections sur cicatrices post-opératoires après une anesthésie au protoxyde d'azote(95). Mais des auteurs ont rappelé les limites de la méthodologie employée dans cette étude pour la réalisation du test des comètes (Single Cell Gel Electrophoresis), ce qui ne permet pas de conclure sur les effets observés(96). L'étude ENIGMA 1 a démontré un risque accru des infections sur plaies post-opératoires dans le groupe exposé au protoxyde d'azote alors que celui-ci n'a pas été retrouvé dans la cohorte ENIGMA 2(11). Une autre étude portant sur 52 patients qui ont bénéficié d'une induction anesthésique au propofol et au bromure de vécuronium, puis répartis dans 3 groupes lors de l'entretien au sévoflurane avec N₂O (groupe SN), au sévoflurane avec rémifentanyl (groupe SR) ou au sévoflurane seul (groupe témoin). Des lésions de l'ADN ont été constatées dans ces 3 groupes, mais celles-ci n'ont pas régressé complètement dans les groupes SN et témoin. Pour autant, aucune différence statistiquement significative n'a été observée(97).

Si ces études ne permettent pas de conclure sur le risque immunitaire et infectieux, les mécanismes suggérés consistent en une interaction indirecte avec l'ADN et un effet seuil, ce qui rend improbable qu'une exposition occasionnelle élevée sous anesthésie ou qu'une exposition professionnelle faible présente un risque cancérogène(96).

2.5. Autorisation de mise sur le marché

En France, la première AMM a été délivrée le 21 septembre 2001 pour l'ANTASOL[®] 135 de Sol France puis le 15 novembre 2001 pour le KALINOX[®] d'Air Liquide Santé International et l'ENTONOX[®] 135 (anciennement MEDIMIX[®]) de Linde France (anciennement Linde Healthcare et AGA Medical). Puis ce sera au tour de l'OXYNOX[®] d'Air Products le 23 décembre 2004, de l'ANTASOL[®] 180 le 22 août 2011, de l'ENTONOX[®] 170 de Linde France le 10 juillet 2012 et de l'ACTYNOX[®] d'Air Products le 17 mai 2017(98).

L'utilisation était réservée au milieu hospitalier jusqu'au 30 novembre 2009, date à laquelle l'ANSM a modifié l'AMM du MEOPA pour le sortir de la réserve hospitalière, autorisant son utilisation en cabinet de ville et en Hospitalisation À Domicile (HAD).

Dans le cadre de l'examen de la sortie de la réserve hospitalière, l'ANSM a examiné les prérequis réglementaires et techniques permettant la mise à disposition en dehors des établissements de santé dans des conditions de sécurité et de qualité satisfaisantes. Compte-tenu de l'ensemble des risques liés à l'utilisation des spécialités à base de MEOPA, l'agence a ainsi conditionné la mise à disposition par l'application d'un Plan de Gestion des Risques (PGR) national commun. L'agence a également mis en place un suivi national d'addictovigilance et de pharmacovigilance confié au CEIP et au CRPV de Nantes^a.

^a: ANSM. MEOPA. [En ligne] <https://ansm.sante.fr/Declarer-un-effet-indesirable/Pharmacodependance-Addictovigilance/Medicaments-a-risque-d-usage-detourne-ou-de-dependance/Medicaments-a-risque-d-usage-detourne-ou-de-dependance/MEOPA-ANTASOL-ENTONOX-KALINOX-OXYNOX>. Consulté le 09/09/18.

Actuellement, le MEOPA est commercialisé en France par 4 laboratoires sous les dénominations suivantes :

- ANTASOL® 135 et ANTASOL® 180 de Sol France depuis décembre 2001 et mars 2012.
- KALINOX® d'Air Liquide Santé International depuis septembre 2004.
- OXYNOX® d'Air Products depuis mars 2005.
- ENTONOX® 170 de Linde France depuis novembre 2012.
- ENTONOX® 135 de Linde France a été commercialisé d'avril 2002 à octobre 2016.
- ACTYNOX® 185 d'Air Products mais la date de déclaration de commercialisation n'est pas encore disponible.

2.6. Présentation et conditionnement

Le MEOPA est utilisé pour ses propriétés analgésiques comme pour ses propriétés sédatives et se présente sous forme d'un gaz comprimé dans une bouteille (effet Poynting), composé à 50% d'oxygène et à 50% de protoxyde d'azote.

Les différents volumes de bouteilles, allant de 2 à 20 litres, sont présentés dans un tableau en annexe 2. Il est intéressant de préciser que le volume d'une bouteille exprimé en litre correspond au volume occupé par le gaz comprimé. Le volume exprimé en mètre cube correspond à la quantité de gaz libéré à l'utilisation. Pour rappel, un mètre cube équivaut à mille litres.

Les bouteilles sont en acier ou en aluminium, munies d'un robinet en laiton à pression résiduelle avec raccord de sortie spécifique ou d'un robinet en laiton avec manodétendeur et prise normalisée avec détrompeur cranté. La couleur des bouteilles respecte la nouvelle norme européenne NF EN 1089-3 d'octobre 2004 qui établit un système de codage par couleur de l'ogive des bouteilles pour l'identification des risques associés au contenu. Pour toutes les bouteilles de gaz à usage médical, le corps est peint en blanc et seule l'ogive porte une couleur qui identifie généralement un risque et non plus un gaz. Ainsi, pour le MEOPA, l'ogive est peinte en blanc avec une bande horizontale bleue.

Pour autant, bien que cette nouvelle norme réduit le risque de confusion entre les bouteilles, le suivi national du MEOPA présenté au CTP de janvier 2014 et février 2017, a recensé plusieurs cas déclarés d'erreurs médicamenteuses, essentiellement des confusions entre l'oxygène et le MEOPA, dont 2 cas avec un effet indésirable (vomissement chez un patient et somnolence chez le second). Ces événements font partie des "nerver events" ou "événements qui ne devraient jamais arriver en établissement de santé". Au CHU de Nantes, 7% des 234 répondants à l'EPP de 2013 ont affirmé avoir déjà été confrontés à une confusion entre une bouteille de MEOPA et un autre gaz à usage médical. Des mesures additionnelles de réduction de ce risque sont en cours d'élaboration par le CRPV, qui recommande la lecture de l'étiquette de la bouteille en plus du code couleur, ainsi que le stockage dans un emplacement clairement identifié, ce qui sera prochainement fait au CHU de Nantes(99,100).

	Avant	Après	Période du changement	Nouveau raccord selon la norme ISO 5145
Protoxyde d'azote/ oxygène	 <p>ogive bleue sur fond blanc</p> <p>corps blanc</p>	 <p>ogive blanche et bleue</p> <p>corps blanc</p>	2014-2018	Sans changement

Figure 8 : Code couleur des bouteilles de MEOPA.

Avant et après la nouvelle norme européenne NF EN 1089-3(101). La bande bleue signifie que le gaz est oxydant.

2.7. Utilisation

2.7.1. Modes d'administration

Le débit du gaz est déterminé par la ventilation spontanée du patient au travers d'un masque facial, nasal ou naso-buccal. Il est adapté en fonction de la capacité du patient à ventiler.

Deux modes d'administration sont disponibles(48) :

- Le débit contrôlé ou continu : le débit est sélectionné par le professionnel de santé à l'aide du débitmètre, au niveau du robinet de la bouteille. Le débit est choisi et réglé en fonction de la ventilation du patient qui est contrôlée grâce à un ballon réservoir placé au niveau du circuit d'administration. Dans ce cas, le débit en continu permet le remplissage du réservoir durant l'expiration du patient.
- Le débit à la demande ou libre : un dispositif d'auto-administration appelé "valve à la demande" est connecté à la sortie du robinet de la bouteille. Il régule automatiquement le débit selon les besoins du patient pendant qu'il inspire et l'interrompt lorsqu'il expire. Le débit est discontinu.

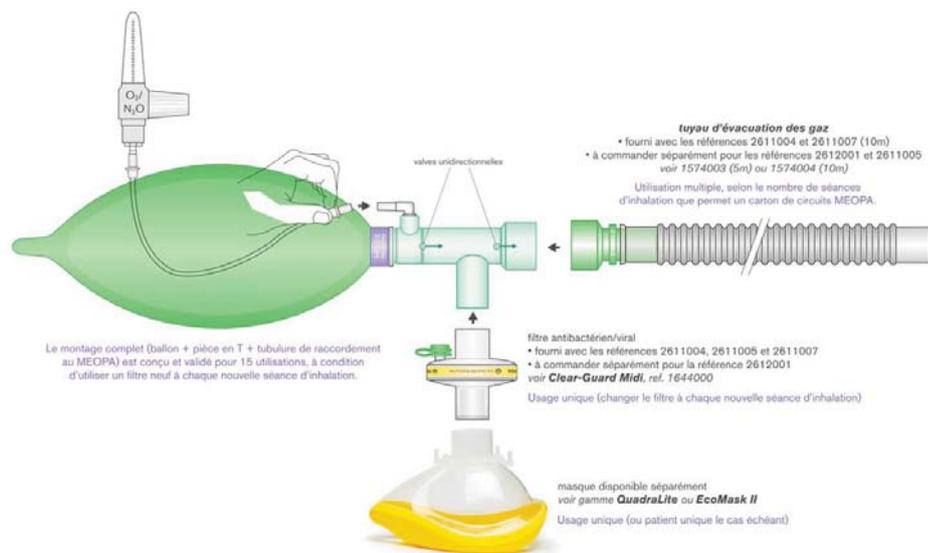
L'administration est également possible par masque laryngé, ou encore par sonde endotrachéale, mais ces modes d'administration ne sont pas toujours recommandés car le protoxyde d'azote est susceptible d'augmenter la pression du ballonnet de la sonde d'intubation, sauf si ce dernier est gonflé par ce gaz ou par un liquide(102).

2.7.1.1. Administration en débit contrôlé

Ce système d'administration est le plus fréquemment utilisé. La valve d'administration ou pièce en T est raccordée au ballon réservoir, à la bouteille de MEOPA du côté de la sortie du débit-litre (olive) par la tubulure de raccordement, au tuyau d'évacuation des gaz et au filtre antibactérien sur lequel vient se fixer le masque d'inhalation. Le masque est adapté à la morphologie du patient, avec des tailles allant de 0 à 6.

Le montage d'administration avec le ballon réservoir, la pièce en T et la tubulure de raccordement, peut être conçu pour être réutilisé jusqu'à 15 fois sans risque, si le filtre est changé entre chaque patient et le dispositif décontaminé soigneusement. La traçabilité de l'utilisation peut se faire sur un papier mais aussi sur le ballon en laissant une marque identifiable, ce qui est souvent fait au CHU de Nantes.

Schéma d'installation du circuit MEOPA, réutilisable 15 fois 2612001, 2611004, 2611005, 2611007



38, Rue Roger Salengro 94124 Fontenay-Sous-Bois Cedex
www.intersurgical.fr | info@intersurgical.fr | 01 48 76 72 30

Qualité, innovation et choix

Figure 9 : Schéma du montage d'administration du MEOPA avec une valve unidirectionnelle.

Le kit d'administration est présenté en détail en annexe 3^a.

La valve unidirectionnelle assure la circulation à sens unique des gaz afin que le patient n'inspire que du gaz frais provenant du ballon réservoir et n'expire que par le raccord d'évacuation pour prévenir un retour de CO₂ dans le ballon.

2.7.1.2. Administration en débit à la demande

Ce système d'administration est simple d'utilisation, il n'est pas nécessaire de régler le débit du gaz. Le patient respire normalement, le débit s'adapte à sa respiration. C'est un système auto-déclenché, recommandé lors de l'utilisation d'un masque facial.

L'embout flexible de la valve est raccordé à la bouteille de MEOPA, du côté de la prise normalisée, puis la bouteille est ouverte. Le raccord patient de l'adaptateur d'évacuation est fixé à la valve, puis le raccord spécifique au tuyau d'évacuation (sur une seconde pièce avec ENTONOX®). L'adaptateur d'évacuation est ensuite raccordé au filtre antibactérien (déjà combiné à l'adaptateur avec ENTONOX®) sur lequel vient se fixer le masque d'inhalation(103).

Le système avec le bouton test doit être vérifié en appuyant légèrement dessus. Il faut entendre le gaz passer par le masque ou l'embout buccal. A la fin de l'administration, le robinet de la bouteille est fermé

^a: Intersurgical. Schéma d'installation du circuit MEOPA. [En ligne]

<https://fr.intersurgical.com/content/files/68569/1042187024>. Consulté le 09/09/18.

et la valve est purgée en appuyant sur le bouton test. Après cette étape, il est possible de déconnecter la valve de la bouteille.

La valve à la demande est réutilisable moyennant l'utilisation d'un filtre. Avec la valve EASE II[®], une décontamination est conseillée toutes les 10 utilisations ou 1 fois par semaine. La partie externe de la valve doit être nettoyée par pulvérisation d'une solution de type HEXANIOS[®], sans immerger ou introduire de liquide dans la valve. Ensuite, il est possible de dévisser le sous-ensemble "valve patient" et le sous-ensemble "valve d'inspiration", d'enlever les clapets en silicone puis d'immerger l'ensemble pendant 15 minutes dans une solution de type HEXANIOS[®]. Les composants de la valve EASE II[®] peuvent aussi être stérilisés à l'autoclave, ce qui n'est pas le cas avec ENTONOX[®]. Ensuite, l'ensemble est séché à l'aide de compresses stériles puis remonté en respectant la position correcte des clapets.



Figure 10 : Montage d'administration du MEOPA avec une valve à la demande.

Il s'agit ici de la valve EASE II[®] de GCE. L'ensemble de la procédure de préparation du matériel avec la valve à la demande EASE II[®] de GCE est clairement illustrée dans une vidéo YouTube^a. Le kit d'administration est présenté en détail en annexe 3.

2.7.2. Recommandation d'utilisation

2.7.2.1. Recommandations générales

En complément du résumé des caractéristiques du produit spécifique au MEOPA, on trouve de nombreuses références sur Internet, souvent rédigées par des établissements hospitaliers ou des sociétés savantes spécialisées. Ces différentes sources nous renseignent sur le protocole d'administration du MEOPA et les bonnes pratiques liées à son utilisation.

Ainsi, nous pouvons retenir les principales recommandations qui suivent, à savoir :

- Former les professionnels de santé assurant l'administration à la manipulation des gaz.
- Respecter les indications, contre-indications et les interactions médicamenteuses.

^a: GCE. Formation MEOPA à l'utilisation de la valve EASE II GCE. [En ligne] https://youtu.be/_7SUpzehL54. Consulté le 09/09/18.

- S'assurer de la prescription de l'administration par un médecin, un dentiste ou une sage-femme (arrêté du 4 février 2013)(104) et sa réalisation par des professionnels habilités, infirmières (IDE, IADE, IBODE et IDE puéricultrices), kinésithérapeutes, manipulateurs en électroradiologie, étudiants en médecine ; ou par l'application d'un protocole validé et signé par le chef de service et le cadre de santé.
- S'assurer de la disponibilité d'un médecin en cas de besoin lors de l'administration.
- S'assurer de la présence d'un chariot d'urgence à proximité.
- Obtenir l'accord du patient, c'est-à-dire son consentement éclairé à bénéficier de cette administration.
- Respecter les recommandations concernant les conditions de stockage, d'utilisation des bouteilles et d'administration (voir en annexe 5).
- Vérifier qu'il reste assez de MEOPA dans la bouteille (au moins 30 bars), sinon s'assurer qu'une deuxième bouteille est disponible.
- Maintenir le contact verbal lors de l'administration en rassurant le patient pour éviter une hyperventilation.

Le gaz doit être administré uniquement chez les patients en respiration spontanée et l'auto-administration est à préférer. Pour obtenir la coopération du patient, il est nécessaire de lui expliquer le but et l'effet du traitement, ainsi que son mode d'administration.

Chez les enfants et les patients dans l'incapacité de comprendre et suivre les instructions concernant l'auto-administration du MEOPA (qui ne peuvent pas conserver le masque en place), le gaz doit être administré sous la supervision d'un professionnel de santé formé à la technique pour les aider à maintenir le masque en place. Dans ce cas, il est recommandé d'administrer le gaz en débit continu. Par contre, comme l'administration en débit continu présente un risque accru de sédation profonde, elle doit avoir lieu en présence d'un professionnel de santé formé à cette technique. On retient donc que l'administration nécessite une surveillance continue du patient, essentiellement clinique : le patient doit être détendu, respirer normalement et répondre aux ordres simples. L'oxymétrie du pouls n'est recommandée que dans le cas d'une association médicamenteuse avec un dépresseur du système nerveux central.

Quelle que soit la méthode d'administration, il doit être expliqué au patient de maintenir le masque sur son visage et de respirer normalement tout au long de l'acte. C'est une mesure de sécurité supplémentaire qui permet de réduire un risque de surdosage : si le patient reçoit plus de MEOPA que nécessaire et que sa vigilance est altérée, il fera tomber le masque et l'administration s'arrêtera. En respirant l'air ambiant, les effets disparaîtront rapidement et le patient reprendra totalement conscience. L'administration du mélange doit être immédiatement interrompue en cas de perte du contact verbal. Aussi, il faut noter l'absence de lien entre l'efficacité du MEOPA et le débit du gaz, puisque le patient inhale toujours 50% de protoxyde d'azote : le débit de gaz doit être adapté à la respiration pour que le ballon reste en permanence bien gonflé et souple (le cycle respiratoire est visible), en général de 2 à 9 L/min mais il n'y a pas de débit maximal.

L'efficacité antalgique du mélange se manifeste pleinement au bout de 3 à 5 minutes d'inhalation, le masque doit alors être maintenu pendant cette période avant la réalisation des soins. En cas d'inefficacité au bout de 5 minutes, ce qui arrive dans 10 à 30% des cas, il est conseillé de réévaluer la stratégie antalgique à suivre. La durée d'inhalation du mélange est liée à la durée de l'acte concerné et ne doit généralement pas dépasser 60 minutes en continu. En cas de répétition, elle ne doit pas dépasser 15 jours consécutifs, et il est recommandé de respecter une fenêtre thérapeutique de 24 heures. A la fin des soins, le masque est enlevé et le patient doit rester 5 minutes au repos sur le fauteuil. Le retour à l'état initial est rapide et sans effet rémanent.

En obstétrique, l'inhalation doit débuter dès le début de la contraction, avant l'apparition de la douleur. La patiente doit respirer normalement pendant la durée de la contraction et ne pas hyperventiler en raison du risque de désaturation en oxygène entre les contractions. L'inhalation sera interrompue dès la diminution de la douleur. Mais en raison du risque de désaturation en oxygène entre les contractions, il est souhaitable de surveiller la FiO₂ en continu par l'oxymétrie du pouls. De même, dans de rares cas, le protoxyde d'azote peut être la cause d'une dépression respiratoire chez les nouveau-nés qui doivent alors être surveillés.

En odontologie, un masque nasal ou naso-buccal peut être utilisé selon le mode de ventilation du patient. Comme précisé plus haut, lorsque le handicap d'un patient ne lui permet pas de conserver le masque en place, celui-ci est maintenu par une aide opératoire sans contrainte physique forte. Après une période d'au moins 3 minutes, l'acte peut être réalisé, en continu si utilisation d'un masque nasal, ou par périodes de 20 à 30 secondes si utilisation d'un masque naso-buccal, qui sera remonté sur le nez pendant ces périodes.

2.7.2.2. Recommandations en pédiatrie

Le site Internet de l'association Pédiadol, référence française dans la prise en charge de la douleur chez l'enfant et l'adolescent, nous apporte des conseils sur le déroulement d'un soin, où les principes phares sont l'établissement d'une relation de confiance avec l'enfant et de l'amener progressivement vers le soin. Ainsi, elle nous propose de renforcer l'effet antalgique du MEOPA en favorisant le rôle actif de l'enfant, en lui proposant de respirer calmement, en le distrayant ou en fixant son attention sur un jouet, une histoire. Elle encourage aussi l'auto-administration et l'intervention des parents dont le rôle devra être défini à l'avance. Les autres propositions sont présentées en annexe 4.

Si l'administration du MEOPA est indiquée pour l'adulte et l'enfant de plus d'un mois, son utilisation peut être proposée à tout âge, y compris en période néonatale, mais nécessite la formation du personnel et un matériel adapté (masque de taille 0 à 1, valve, ballon d'un litre). Cependant, il est intéressant de préciser que le taux de succès chez les enfants de moins de 3 ans est plus faible en raison d'une concentration alvéolaire minimum efficace supérieure à celle des enfants plus âgés, et de l'immaturité de certains circuits neurologiques. L'auto-administration est possible à partir de 4 ans (âge permettant une coopération active).

L'effet de potentialisation est à rechercher. Ainsi, il est possible d'associer des anesthésiques locaux (spray, infiltration, gel de xylocaïne) et/ou des antalgiques de palier 1. De même, bien que la sécurité d'utilisation du gaz soit plus grande lorsqu'il est utilisé seul, si ce dernier est inefficace, il est possible de recourir à des associations médicamenteuses (dépresseurs du système nerveux central, principalement les morphiniques et les benzodiazépines) mais sous réserve d'une évaluation par un médecin expérimenté avec la méthode.

2.7.2.3. Recommandations et consignes de sécurité

Le résumé des caractéristiques du produit spécifique au MEOPA et l'association Pédiadol abordent également la question de la ventilation des locaux où l'administration a lieu fréquemment, en indiquant qu'ils doivent disposer d'un système de récupération des gaz usagés ou de ventilation satisfaisante pour maintenir la concentration de protoxyde d'azote dans l'air ambiant à un niveau minimum et en-dessous des limites d'expositions professionnelles définies au niveau national.

Le mélange se conserve 3 ans à une température comprise entre 0°C et 50°C, à l'abri du gel. En effet, le MEOPA est instable en-dessous de -5°C, avec un risque de liquéfaction d'une partie du protoxyde d'azote donnant lieu à l'inhalation de mélanges inégaux, comportant trop d'oxygène en début d'administration (mélange peu analgésique) et trop de protoxyde d'azote à la fin (mélange hypoxique). Les précautions à prendre et les principales consignes de sécurité sur l'utilisation, le stockage et le transport des bouteilles sont précisées sur le résumé des caractéristiques du produit spécifique au MEOPA. Elles sont également présentées en annexe 5.

2.8. Indications thérapeutiques, contre-indications, interactions médicamenteuses et surdosage

Sur le site de l'ANSM, le résumé des caractéristiques du produit spécifique au MEOPA précise les indications thérapeutiques, les contre-indications et les interactions médicamenteuses.

2.8.1. Indications thérapeutiques

Les principales indications thérapeutiques d'utilisation du MEOPA sont :

- L'analgésie lors de l'aide médicale d'urgence : traumatisme, brûlure, transport.
- L'analgésie de courte durée des actes douloureux ou en cas de douleur légère à modérée chez l'adulte et l'enfant de plus d'un mois : ponction veineuse, ponction lombaire, myélogramme, réduction de fractures simples, réduction de certaines luxations périphériques, petite chirurgie superficielle, pansements de brûlés.
- L'analgésie en obstétrique, en milieu hospitalier exclusivement, dans l'attente d'une analgésie péridurale ou en cas de refus ou d'impossibilité de la réaliser.
- L'analgésie et la sédation consciente en soins dentaires, chez les enfants et les patients anxieux ou handicapés.

Le site Internet de l'association Pédiadol ajoute à ces indications, certaines douleurs survenant dans des conditions particulières, comme les crises drépanocytaires aiguës, en attente de soulagement ou très douloureuses^a.

2.8.2. Contre-indications, mises en garde et précautions d'emploi

Les contre-indications à l'utilisation du MEOPA sont :

- Le refus du patient.
- Une douleur sévère ou un acte dont la durée prévisible d'utilisation du protoxyde d'azote est supérieure à 60 minutes.
- Les patients nécessitant une ventilation en oxygène pur (risque d'hypoxie).
- Un état hémodynamique instable.
- Toute altération de l'état de conscience, empêchant la coopération du patient.
- Une hypertension intracrânienne.

^a: Pédiadol. Modalités d'administration du MEOPA. [En ligne] <https://www.pediadol.org/Protocole-d-utilisation-du-MEOPA.html>. Consulté le 09/09/18.

- Un traumatisme crânien non évalué ou un traumatisme facial intéressant la région d'application du masque.
- Toute condition où de l'air se retrouve piégé à l'intérieur du corps (poche aérique) et où son expansion pourrait être dangereuse comme un traumatisme crânien, un traumatisme maxillo-facial, un pneumothorax, une bulle d'emphysème, une embolie gazeuse, un accident de plongée, une distension gazeuse abdominale, une chirurgie récente de l'oreille moyenne, de l'oreille interne et des sinus, un patient à qui de l'air a été injecté dans l'espace épidural pour déterminer la position de l'aiguille lors d'une anesthésie péridurale, un patient ayant reçu récemment un gaz ophtalmique (SF6, C3F8, C2F6) utilisé dans la chirurgie oculaire tant que persiste une bulle de gaz intra-oculaire et au minimum pendant une période de 3 mois.
- Un déficit connu et non substitué en vitamine B12 (carence d'apport par régime végétalien, malabsorption post-chirurgicale ou sur une MICI, maladie de Biermer, médicamenteuse) ou en vitamine B9 (carence d'apport par éthylisme chronique, malabsorption post-chirurgicale ou sur une maladie coéliqua, médicamenteuse).
- Une intoxication au cyanure (la cobalamine inactive l'ion cyanure).
- Une anomalie neurologique d'apparition récente et non expliquée.

En raison de sa faible solubilité, le protoxyde d'azote s'accumule dans les cavités aériennes de l'organisme, ce qui peut accroître leur volume ou provoquer une augmentation de la pression intra-cavitaire.

Des précautions d'emploi sont à prendre lors de l'administration du MEOPA pour :

- Une pathologie naso-sinusienne (occlusion naso-pharyngée, sinusite, infection récente).
- Une pathologie pulmonaire (toux, bronchite, bronchopneumopathie chronique obstructive sévère, insuffisance respiratoire aiguë ou chronique sévère).
- Un traitement en cours ou datant de moins d'un an à la bléomycine (risque de fibrose pulmonaire).
- Les patients claustrophobes, non coopérants qui refusent la sédation et l'application du masque, toxicomanes, éthyliques chroniques (sensation d'euphorie qui risque d'encourager les comportements d'addictions) et certains psychotiques (risque de dissociation mentale).

En cas d'administration prolongée et/ou répétée, il est recommandé de supplémenter le patient en vitamine B12. Après l'arrêt de l'administration du mélange, et surtout si elle a été prolongée, les patients ambulatoires qui doivent conduire ou utiliser des machines devront être gardés sous surveillance jusqu'à la disparation complète des effets indésirables éventuellement survenus, et le retour à l'état de vigilance antérieur à l'administration.

2.8.3. Associations contre-indiquées et à prendre en compte

Les associations contre-indiquées avec le MEOPA concernent l'utilisation de gaz ophtalmiques (SF6, C3F8, C2F6) car une interaction entre le protoxyde d'azote et le gaz incomplètement résorbé peut être à l'origine de complications post-opératoires graves liées à la grande diffusion du protoxyde d'azote. Les bulles de gaz ophtalmique incomplètement résorbées se trouvent alors regonflées entraînant une augmentation de la pression intra-oculaire aux effets délétères.

Les associations à prendre en compte avec le MEOPA concernent les médicaments à action centrale (opiacés, benzodiazépines et autres psychotropes) pour lesquels il existe un risque de potentialisation des effets hypnotiques en cas d'association avec le protoxyde d'azote.

2.8.4. Surdosage

Du fait d'une participation active du patient dans l'administration de MEOPA, le risque de surdosage est faible. Cependant, un surdosage peut survenir en cas de stockage inapproprié à une température inférieure à 0°C (le protoxyde d'azote se liquéfie en-dessous de -7°C), les deux gaz peuvent alors se dissocier, exposant au risque de surdosage en protoxyde d'azote et donc d'hypoxie.

Le résumé des caractéristiques du produit spécifique au MEOPA nous rappelle que si le patient montre des signes d'hypovigilance, ne répond pas ou ne réagit pas correctement à une demande, ou présente un comportement indiquant une sédation prononcée, l'administration doit être arrêtée. Il en est de même s'il présente des signes de cyanose. Dans ce dernier cas, le patient doit être ventilé avec un ballon manuel rempli d'air ambiant ou d'oxygène.

En dehors d'une application médicale, un surdosage peut aussi se produire lors d'une utilisation récréative où la personne inhale plusieurs fois le gaz contenu dans des cartouches en remplissant des ballons à l'aide d'un siphon à chantilly. Le principal effet recherché est l'euphorie mais le gaz peut aussi provoquer une sensation d'excitation, d'hypervigilance ou alors de dissociation en quelques secondes(11).

2.9. Réglementation et implications en santé au travail et sur l'environnement

2.9.1. Réglementation relative aux stupéfiants

Les différentes spécialités à base de MEOPA sont classées sur liste I mais sont également soumises au second alinéa de l'article R. 5132-80 du Code de Santé Publique. L'article rappelle que ces substances doivent être détenues dans des armoires ou des locaux fermés à clef et ne contenant rien d'autre. Tout vol ou détournement est signalé sans délai aux autorités de police, à l'Agence Régionale de Santé (ARS) à l'attention du pharmacien inspecteur et à l'ANSM(3,6).

2.9.2. Définition des Valeurs Limites d'Exposition Professionnelle

Pour un grand nombre d'agents chimiques dangereux, il est nécessaire de fixer des niveaux de concentration de polluants dans l'atmosphère des lieux de travail à ne pas dépasser sur une période de référence déterminée. Ainsi le ministère chargé du travail fixe des Valeurs Limites d'Exposition Professionnelle (VLEP) qui peuvent être contraignantes (fixées par décret) ou indicatives (fixées par arrêté) afin de protéger la santé des travailleurs(105).

Pour pouvoir fixer réglementairement ces niveaux de concentration à ne pas dépasser sur la base de critères sanitaires, le ministère chargé du travail saisi l'Agence Nationale de Sécurité Sanitaire et de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES) afin d'organiser la phase d'expertise scientifique indépendante et collective nécessaire à l'élaboration de ces VLEP.

Les VLEP sont des niveaux de concentration maximale d'une substance chimique dans l'atmosphère de travail qui ne provoquent pas d'effet néfaste sur la santé des salariés ou de nuisance inacceptable. En-

dessous de ces concentrations, le risque théorique d'altération de la santé est considéré comme suffisamment négligeable. Ces niveaux sont déterminés en considérant que la population exposée est une population qui ne comprend ni enfants, ni personnes âgées. Elles peuvent être réglementaires contraignantes, donc soumises à une obligation de non-dépassement, ou bien réglementaires indicatives et constituent des objectifs de prévention et d'aide à l'évaluation des risques.

Pour une substance donnée, trois types de valeurs limites d'exposition sont mesurés ou calculés et recommandés sur la base des données scientifiques disponibles :

- Une Valeur Limite d'Exposition Professionnelle - 8 heures (VLEP - 8h ou par extension VLEP) qui a pour objectif de protéger, à moyen et long terme, la santé des travailleurs exposés régulièrement à l'agent chimique, tout au long d'une vie de travail. Cette valeur est pondérée sur une période de référence de 8 heures et 38 ou 40 heures par semaine pour 40 années de travail. Elle est également appelée Valeur Moyenne d'Exposition (VME). Elle est établie le plus souvent pour les effets systémiques.
- Une Valeur Limite d'exposition professionnelle à Court Terme (VLCT) qui a pour objectif de protéger les travailleurs des effets toxiques immédiats ou à court terme sur la santé dus à des pics d'expositions. Cette valeur est mesurée sur une durée de 15 minutes. Elle est également appelée Valeur Limite d'Exposition (VLE). Elle est établie pour les effets locaux.
- Une valeur plafond définie comme la limite de la concentration atmosphérique d'un agent chimique dans la zone de respiration d'un travailleur, qui ne doit être dépassée à aucun moment de la période de travail. Elle concerne des substances pour lesquelles le profil toxicologique montre qu'une exposition peut entraîner, de façon instantanée, un effet grave et potentiellement irréversible et qui ne peut pas être contrôlé par l'application d'une VLEP - 8h ou d'une VLCT.

Les valeurs limites sont généralement exprimées en mg/m^3 pour les aérosols liquides et les solides, en mg/m^3 ou en ppm pour les gaz et les vapeurs, et en $\text{fibres}/\text{cm}^3$ pour les fibres. Les valeurs limites d'exposition professionnelle des autres pays sont présentées en annexe 6.

2.9.3. Valeurs Limites d'Exposition Professionnelle du protoxyde d'azote

Des valeurs limites ont été établies dans certains pays pour le protoxyde d'azote, mais il n'existe pas de consensus international.

En France, des valeurs limites ont été établies pour le protoxyde d'azote dans l'air des lieux de travail où sont effectuées des anesthésies avec la circulaire DGS/3A/667 bis du 10 octobre 1985 qui fixe à 25 ppm la valeur limite d'exposition durant la phase d'entretien de l'anesthésie. Cette valeur de 25 ppm est fondée sur une étude de 1976 où l'on a noté une réduction des performances psychomotrices et sensorielles après une exposition de 2 heures au protoxyde d'azote à une concentration de 50 ppm et l'absence d'effet à 25 ppm(12,47). La circulaire stipule que "les salles où se font les anesthésies (y compris l'induction et le réveil) doivent être équipées de dispositifs assurant l'évacuation des gaz et vapeurs anesthésiques. Ces dispositifs doivent permettre, durant la phase d'entretien de l'anesthésie, d'abaisser à proximité du malade et du personnel, les concentrations à moins de 25 ppm pour le protoxyde d'azote et à moins de 2 ppm pour les halogénés". Il est important de préciser que cette valeur n'est pas décrite comme une VLEP mais elle peut être considérée comme telle. Il n'y a pas non plus de VLCT, mais l'ANSES recommande de ne pas dépasser 5 fois la VME pendant 15 minutes, soit 125 ppm.

Pays	VME équivalentes à une VLEP - 8h	Valeurs limites d'exposition équivalentes à une VLCT
France (ANSES)	Équivalent VME (ppm) : 25 Équivalent VME (mg/m ³) : 45	Équivalent VLCT (ppm) : 125
Etats-Unis (ACGIH)	VME (ppm) : 50 VME (mg/m ³) : 90	VLCT - 30 min (ppm) : 150
Allemagne (DFG)	VME (ppm) : 100 VME (mg/m ³) : 180	VLCT - 30 min (ppm) : 160
Suisse (SUVA)	VME (ppm) : 100 VME (mg/m ³) : 180	VLCT - 15 min (ppm) : 200
Belgique (CSS)	VME (ppm) : 50 VME (mg/m ³) : 91	
Pays-Bas (GR)	VME (ppm) : 80 VME (mg/m ³) : 152	VLCT - 15 min (ppm) : 160

Tableau 4 : VLEP et VLCT du protoxyde d'azote dans différents pays.

Sources disponibles dans la bibliographie(3,7,8,69).

En périconceptionnel, et durant la grossesse, la Société Française de Médecine du Travail recommande de manière générale pour une exposition à des produits chimiques, de fixer les seuils (Valeur Toxicologique sans effet sur le Développement ou VTD) au 1/10ème de la VLEP soit 2,5 ppm. Dans la fiche DEMETER, l'INRS recommande pour le protoxyde d'azote, 1/100ème de la NOAEL soit 5 ppm, en se basant sur une étude de 1983 citée plus haut(9,69,81,106,107). Elle précise que les conditions de travail devront être suffisamment sûres pour éviter tout risque accidentel susceptible de dépasser ces doses même sur un temps court de quelques heures. En l'absence de mesures précises, elle recommande de ne pas exposer une femme enceinte à ce produit(9). Concernant l'allaitement, par l'absence de données suffisantes sur les risques pour l'enfant, on retiendra les mêmes recommandations que chez la femme enceinte(8,9).

Aux États-Unis, on retrouve 2 préconisations, celle du NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health) qui recommande une VLEP à 25 ppm sur le temps d'administration depuis 1977 et celle de l'ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists) qui a établi une VLEP à 50 ppm depuis 1989.

En Belgique, le CSS (Conseil Supérieur de la Santé) recommande que l'administration soit réalisée dans des endroits spécifiques, équipés d'un système de ventilation permettant de ne pas dépasser un seuil de 50 ppm dans le local d'administration et installé de façon à ce que la pollution soit minimale dans l'environnement de travail. Il est aussi recommandé d'utiliser un système d'aspiration des gaz avec une aspiration à la source, à savoir d'aspiration et d'élimination immédiate de l'air expiré par le patient, en utilisant un système agréé.

Aux Pays-Bas, la Maximaal Aanvaarde Concentratie (MAC), qui peut se traduire par Concentration Maximale Acceptable (CMA), est un équivalent de la VLEP. Elle est de 80 ppm pour le protoxyde d'azote. La VLCT correspond au double de la CMA, soit 160 ppm. Cependant, un niveau d'action est convenu entre les hôpitaux, selon le principe cindynique ALARA ou "As Low As Reasonably Achievable", qui peut se traduire par "Aussi bas que raisonnablement possible". La valeur cible retenue correspond à 25% de la VLEP soit 20 ppm, et 25% de la VLCT soit 40 ppm. Pour ce faire, un captage à la source avec double masque est obligatoire en cas de système non-clos.



Figure 11 : Affiche illustrant le principe de précaution ALARA.

Source disponible en bas de page^a.

2.9.4. Surveillance médicale en santé au travail

Les recommandations de l'INRS(7,8) lors des visites médicales initiales et périodiques sont de réaliser un examen clinique préalable à toute exposition potentielle. Quant aux questions des risques sur la fertilité et chez les femmes enceintes et allaitantes, il nous est conseillé d'exposer le moins possible les femmes désireuses de débiter une grossesse en raison de signaux d'alerte pour la fertilité et le développement. Des difficultés de conception chez l'homme et la femme doivent être recherchées à l'interrogatoire, et si de telles difficultés sont identifiées, le rôle de l'exposition professionnelle doit être évalué. Dans ce cas, il est alors recommandé d'orienter le salarié vers une consultation spécialisée en fournissant toutes les données disponibles sur l'exposition et les produits. De même, en cas d'une exposition durant la grossesse, il est judicieux d'en informer la personne assurant son suivi. Ainsi, il est recommandé d'informer les salariés des dangers de ce produit pour la fertilité et la grossesse, et de l'importance des mesures de prévention. Il est aussi utile de rappeler aux femmes en âge de procréer de l'intérêt de déclarer le plus tôt possible leur grossesse à l'employeur, et d'avertir le médecin du travail de façon à éviter les situations à risque.

^a: The keep calm-o-matic. Page commerciale. [En ligne] <https://www.keepcalm-o-matic.co.uk/p/keep-calm-and-a-l-a-r-a>. Consulté le 09/09/18.

Cet examen clinique pourra être complété d'un bilan biologique pour chaque salarié nouvellement affecté au poste. Il pourra comporter une numération formule sanguine (NFS) et plaquettes, éventuellement accompagnée d'un bilan hépatique et rénal de référence.

La fréquence des visites médicales et l'indication à répéter les examens complémentaires seront laissées à la libre appréciation du médecin du travail, après l'évaluation clinique et l'appréciation du risque pour le salarié. Pour les femmes enceintes et allaitantes, les niveaux d'exposition devront être inférieurs à 1/100 de la NOAEL, soit 5 ppm. En l'absence d'information précise sur l'exposition, il est conseillé de ne pas exposer une femme enceinte.

A l'issue de la mise en place de mesures de prévention, l'INRS nous rappelle que leur efficacité doit être contrôlée. Le dosage du protoxyde d'azote urinaire en fin de poste et en fin de journée a été proposé dans 2 études réalisées auprès de professionnels travaillant dans des blocs opératoires. Une relation étroite entre les concentrations de protoxyde d'azote atmosphériques et urinaires a été retrouvée. De même, le dosage dans l'air expiré immédiatement en fin d'exposition a été proposé par une étude au CHU de Lyon, mais l'interprétation était difficile en l'absence de données précises sur la cinétique d'élimination du gaz dans l'air expiré et les difficultés de recueil(3).

Cependant, ces méthodes de dosage biologique n'étant pas toujours fiables et simples à réaliser, il est possible de mesurer les niveaux d'exposition par des campagnes de prélèvements atmosphériques : c'est cette dernière option que nous avons retenu pour notre étude.

2.9.5. Effets sur l'environnement

Le protoxyde d'azote est un gaz à effet de serre dont le potentiel de réchauffement climatique est estimé à 198 (contre 172,5 pour le MEOPA) avec une durée de vie dans l'atmosphère de 114 ans. Il détruit la couche d'ozone qui nous protège des radiations solaires ultraviolettes et favorise l'effet de serre par la formation d'une barrière à l'évacuation des radiations thermiques terrestres. Ce phénomène s'accroît par la dégradation du protoxyde d'azote par les rayons ultraviolets (photolyse) en oxyde nitrique (NO) et en dioxyde d'azote (NO₂) qui attaquent à leur tour la couche d'ozone. Comme indiqué précédemment, ce sont les activités humaines dans l'agriculture et l'industrie qui sont le plus impliquées, la part imputable à l'usage hospitalier est négligeable : l'activité d'anesthésie n'est responsable que de 1% de la production de protoxyde d'azote. Pour autant, il est possible de réduire la pollution engendrée par l'utilisation des gaz anesthésiques, d'une part pour réduire l'exposition professionnelle, et d'autre part pour réduire la pollution de l'environnement. Plusieurs pistes sont envisageables comme la réduction des débits de gaz frais, notamment pour les gaz halogénés, gaz à fort potentiel de réchauffement climatique, mais aussi la mise en place de systèmes de recapture(108). Ces différentes options sont précisées plus loin.

2.9.6. Des blocs opératoires aux services de soins

Dans les blocs, la pollution de l'air par les gaz anesthésiques est maîtrisée, les prises SEGA sont directement reliées au respirateur qui extrait le gaz expiré en circuit fermé, et la ventilation générale est très élevée, variant de 25 à plus de 50 volumes par heure, selon le niveau du risque infectieux et les préconisations de la norme NF S 90-351(109,110). Le Facility Guidelines Institute, organisme américain qui publie des recommandations sur la conception et la construction d'établissements de santé, préconise un renouvellement minimal de 6 volumes par heure pour des salles de consultation contre 15 volumes pour des blocs opératoires (11). Mais selon certains auteurs, si un taux de renouvellement de l'air de l'ordre de 15

volumes ou de 1200 mètres cubes par heure assure une dépollution relativement efficace de l'atmosphère d'une salle, il ne permet à lui seul de ramener les taux d'exposition aux valeurs recommandées à proximité des sites d'émission(49). Suivant les recommandations de la circulaire de 1985, la législation a imposé l'application de normes de sécurité relative aux Systèmes de Distribution des Gaz Médicaux (SDGM), dont la dernière norme AFNOR-ISO en vigueur est la NF EN ISO 7396-1, et des dispositions spécifiques quant à la mise en place de Systèmes d'Extraction des Gaz Anesthésiques (SEGA) avec les normes NF EN ISO 7396-2 et 9170-2. La prise SEGA est un système actif raccordé à une canalisation d'évacuation dans laquelle de l'air sous pression circule, ce qui induit une dépression par effet Venturi et permet l'évacuation des gaz anesthésiques expirés par le patient. Elle fonctionne avec une pompe à vide AGSS ou sous air comprimé à 5 bars et rejette les gaz dans le réseau de vide dédié (à ne pas confondre avec le vide médical). Ces prises de petite taille, facilement intégrables dans les gaines et les bras plafonniers, peuvent générer un débit d'aspiration de 20 à 60 litres par minute respectivement sous air comprimé et sous vide. L'évacuation des gaz se fait ensuite à l'extérieur du bâtiment, sans recyclage de l'air.

En France, contrairement aux États-Unis, l'utilisation du MEOPA en odontologie de ville ne s'est pas généralisée dans la pratique courante. Cela s'explique par de nombreux obstacles universitaires et juridiques. Des études réalisées chez des dentistes et assistantes dentaires aux États-Unis, ont permis de mettre en place des systèmes similaires aux prises SEGA, mais avec des débits d'aspiration adaptés. L'efficacité de ces systèmes a été démontrée par des mesurages au cabinet, au niveau de la zone d'inspiration du dentiste et d'une zone en retrait, en présence ou non d'un extracteur de gaz(3).

Mais qu'en est-il des administrations dans les services de soins ? La banalisation de l'utilisation de ce gaz par les soignants, impose au médecin du travail de réfléchir aux problématiques que posent les pratiques actuelles avec des administrations faites dans plusieurs locaux différents, parfois inadaptés et mal ventilés, avec la difficulté de réaménager les systèmes de ventilation ou l'impossibilité dans certains cas de relier le tuyau d'évacuation des gaz sur une prise SEGA en raison d'un débit trop important. Mais la question des pratiques futures est tout aussi importante, notamment dans le cadre d'une démarche de prévention s'inscrivant dans la construction d'un nouvel établissement, ce qui est le cas de Nantes par la construction future du nouvel hôpital sur l'Île de Nantes.

3. ÉTUDE SUR LE CHU DE NANTES

3.1. Objectifs

C'est dans le cadre de la maîtrise des risques chimiques au CHU de Nantes, que le Service de Santé au Travail a mis la problématique des pratiques et expositions professionnelles au MEOPA à l'ordre du jour du groupe "risque chimique". Ainsi, à l'initiative du médecin du travail référent "risque chimique", un groupe institutionnel pluridisciplinaire a été créé pour travailler sur la question du MEOPA et réunir les différents acteurs concernés, à savoir :

- La cadre supérieure en charge de la prévention des risques professionnels.
- Des membres de l'équipe mobile douleur du CLUD-SP dont le médecin référent et l'infirmière en charge de la formation des correspondants douleur.
- La cadre supérieure de santé en charge de la douleur et des soins palliatifs.
- Des pharmaciennes de l'établissement dont la référente du protoxyde d'azote au CRPV.
- Des ingénieurs biomédicaux de l'établissement.
- Le responsable des services techniques de l'Hôtel-Dieu (HD) et du Pôle Investissements, Logistique et Nouvel Hôpital (PILNH).
- Un ingénieur de la Direction des Travaux et des Techniques (DTTSN) responsable de la métrologie.
- Le responsable des marchés des fournitures et fluides médicaux.
- Des ingénieurs chimistes et un contrôleur de sécurité des CARSAT Bretagne et Pays de la Loire.
- Et l'interne en médecine du travail présent dans le service.

La première réunion institutionnelle a eu lieu en mai 2017, avec l'objectif principal de cartographier le risque dans l'établissement par l'identification des principaux services consommateurs et l'élaboration d'une campagne de prélèvements avec la CARSAT pour évaluer les expositions professionnelles. Cette démarche a pour finalité l'amélioration des conditions de travail et des pratiques professionnelles. Ainsi, à court et moyen terme, ces actions nous permettront de limiter les expositions professionnelles au plus bas niveau possible (principe ALARA). Et à plus long terme, le groupe de travail se donne aussi l'objectif de réfléchir aux installations nécessaires pour le nouvel hôpital sur l'Île de Nantes, en s'appuyant sur des modèles validés pour différents secteurs et types d'activités.

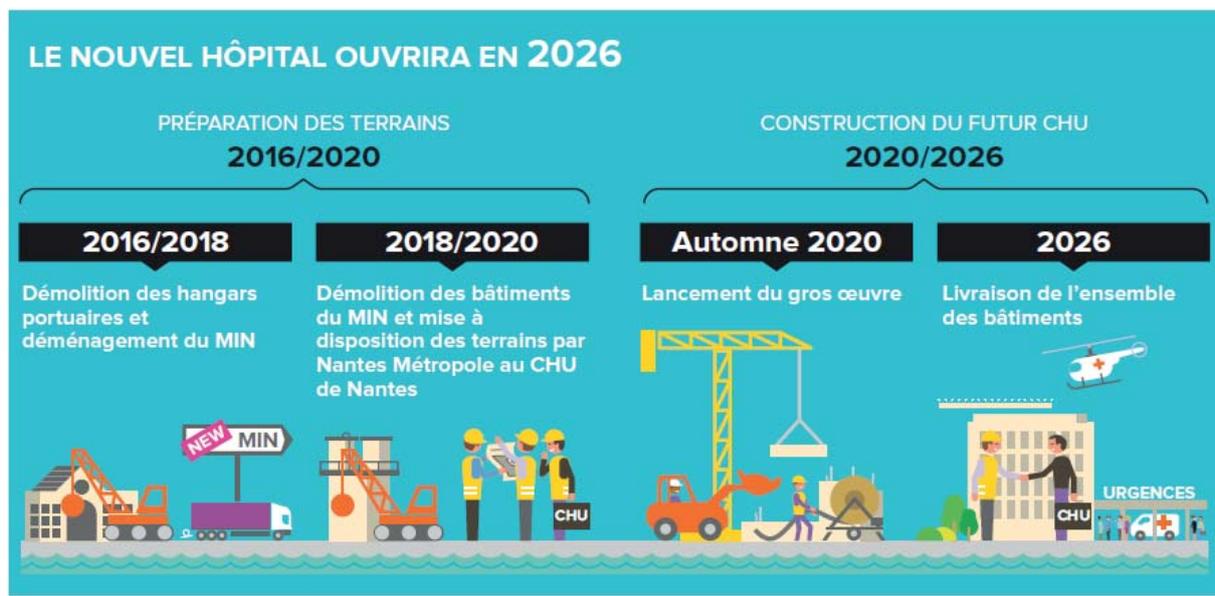


Figure 12 : Nouvel hôpital : il ouvrira ses portes en 2026.

Source disponible en bas de page^a.

Les autres réunions du groupe, de mai 2017 à juin 2018, ont été l'occasion de :

- Préciser la réglementation et les effets sur la santé du protoxyde d'azote, avec l'intervention des ingénieurs de la CARSAT.
- D'élaborer des pistes simples pour réduire les émissions et fuites de MEOPA, comme la formation des utilisateurs et le rappel des bonnes pratiques en s'aidant des correspondants douleur, l'utilisation de masques adaptés à la morphologie des patients, des débits d'administration les plus faibles possibles, la rationalisation de l'utilisation du gaz et la proposition de solutions alternatives.
- De discuter des systèmes d'administration et de recapture des gaz existants, de leur efficacité et leur fonctionnement pour réduire les émissions et fuites de MEOPA.
- D'aborder l'impact environnemental et économique des émissions et fuites de MEOPA.

3.2. Matériel et méthode

3.2.1. Choix des services

C'est à la suite de la validation par l'établissement d'une campagne de prélèvements avec la CARSAT, qu'il a été décidé de déterminer les secteurs les plus à risques où prioriser nos actions et orienter nos prélèvements.

^a: CHU de Nantes. Un nouvel hôpital. [En ligne] <https://www.chu-nantes.fr/un-nouvel-hopital--56841.kjsp>. Consulté le 09/09/18.

3.2.1.1. Le CHU de Nantes en chiffres

Comme notre étude concerne l'ensemble du CHU, il est intéressant d'aborder quelques chiffres à son sujet. D'après le rapport d'activité de 2017(111), il dispose d'une offre de soins regroupant :

- Des soins de courte durée avec 1663 lits dont 1018 lits de médecine, 543 lits de chirurgie et 102 de gynécologie-obstétrique.
- Des soins de suite et de réadaptation avec 372 lits.
- Des soins de longue durée avec 460 lits dont 290 lits d'EHPAD (Établissement d'Hébergement pour Personnes Agées Dépendantes) et 170 lits d'USLDR (Unité de Soins Longue Durée Redéfinie).
- Des soins de psychiatrie avec 533 lits.

L'offre de soins totalise 3028 lits sur 9 sites dont 4 grands établissements hospitaliers, l'Hôtel-Dieu, l'hôpital Mère-Enfant, l'hôpital Nord Laënnec et l'hôpital Saint-Jacques.

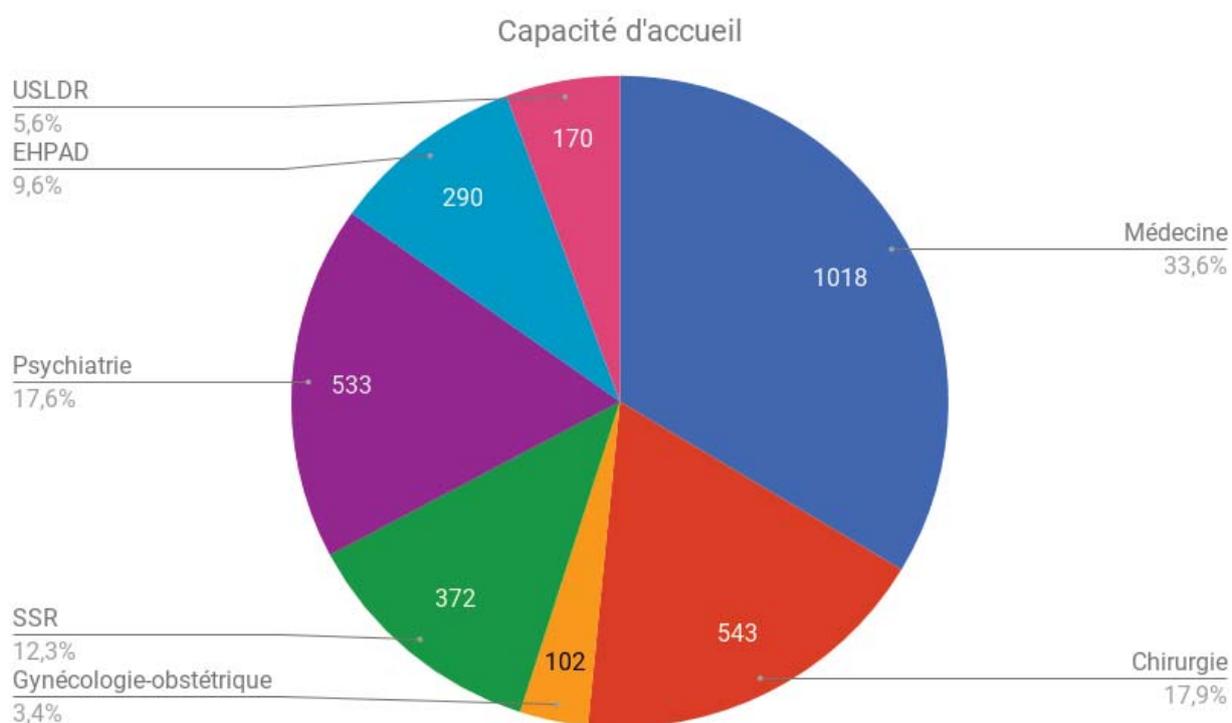


Figure 13 : Capacité d'accueil du CHU en 2017.

Source disponible dans la bibliographie(111).

L'effectif global totalise 12624 professionnels, faisant du CHU le premier employeur des Pays de la Loire.

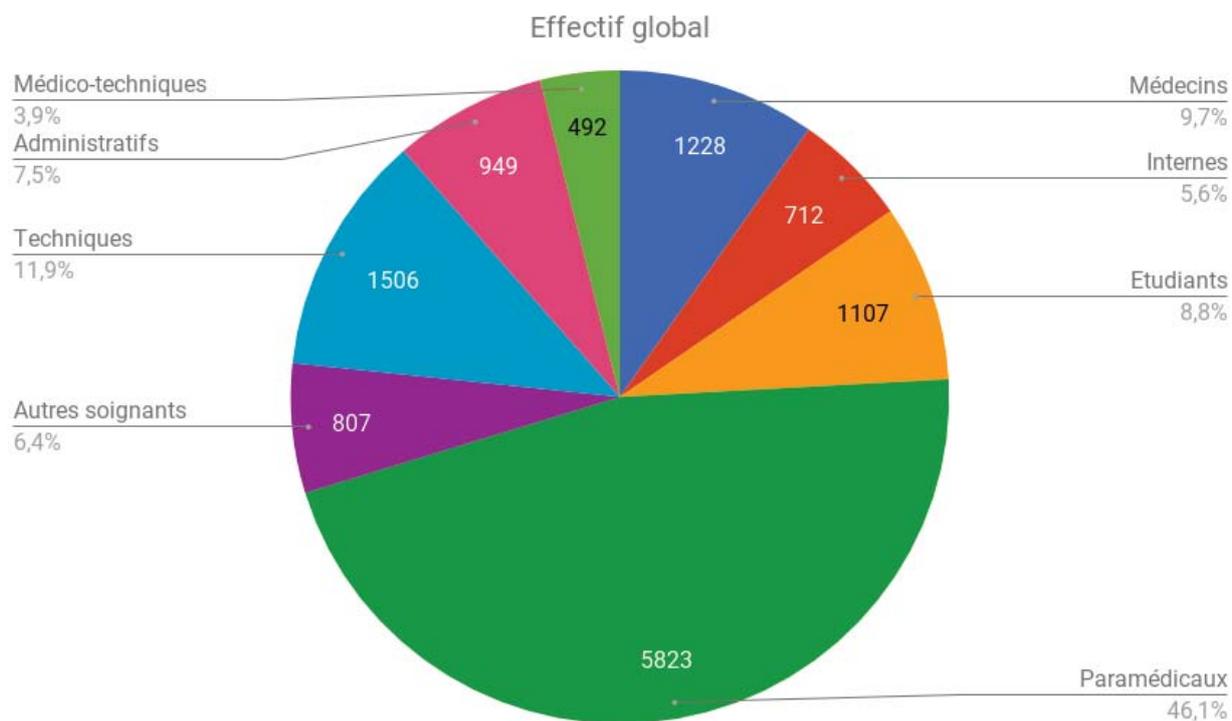


Figure 14 : Effectif global du CHU en 2017.

Source disponible dans la bibliographie(111).

D'après le rapport d'activité de 2017, le personnel médical du CHU compte :

- 276 professeurs des universités et praticiens hospitaliers (PU-PH), maîtres de conférences des universités et praticiens hospitaliers (MCU-PH), praticiens hospitaliers universitaires (PHU), chefs de clinique des universités et assistants des hôpitaux (CCA-HU) ; équivalant à 138 ETP (Équivalents Temps Plein).
- 690 praticiens hospitaliers (PH), temps plein et temps partiel, contractuels, assistants ; équivalant à 660,17 ETP.
- 262 attachés ; équivalant à 76,73 ETP.
- 712 internes ; équivalant à 711,6 ETP.
- 1107 étudiants ; équivalant à 1107 ETP.

L'effectif médical totalise 3047 agents équivalant à 2693,5 ETP et compte 57% de femmes (1751) contre 43% d'hommes (1296). L'âge moyen des universitaires et des praticiens est de 43 ans, 48,9 ans chez les attachés, 27,1 ans chez les internes et 23,8 ans chez les étudiants.

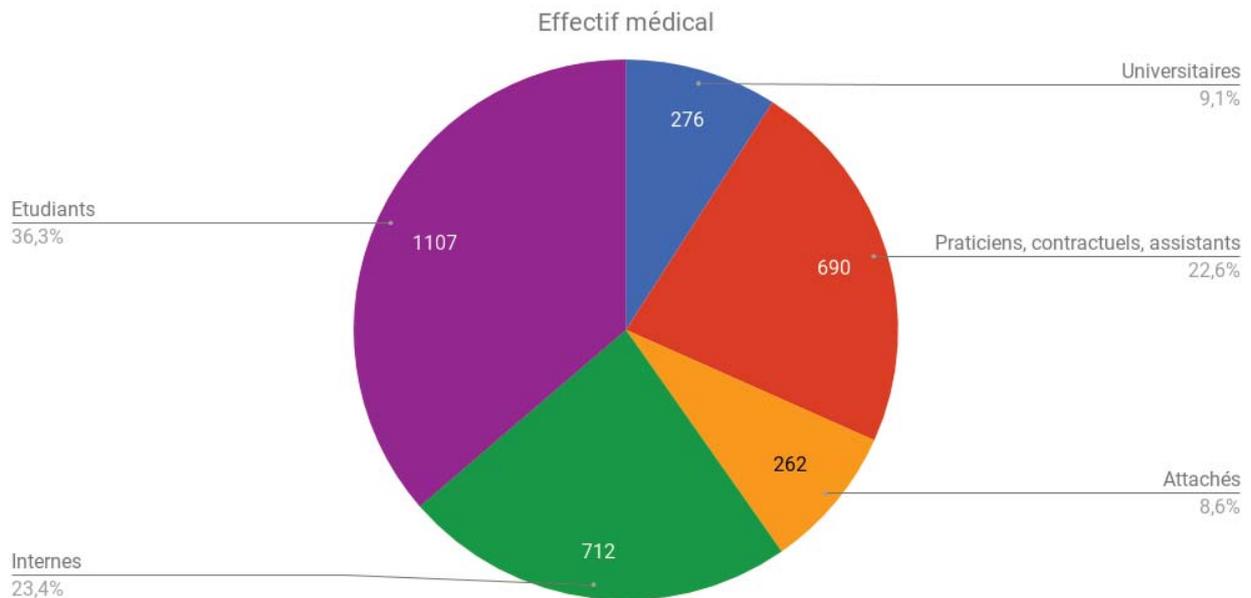


Figure 15 : Effectif médical du CHU en 2017.

Source disponible dans la bibliographie(111).

Toujours d'après le rapport d'activité de 2017, le personnel non médical du CHU compte :

- 6630 agents dans le domaine soignant et éducatif ; équivalent à 6147,2 ETP.
 - Dont 3167 infirmiers (IDE) ; équivalent à 2954,3 ETP.
 - Dont 2220 aides-soignants (AS) et auxiliaires de puériculture (AP) ; équivalent à 2047,7 ETP.
 - Dont 436 agents des services hospitaliers (ASH) ; équivalent à 427,7 ETP.
- 1506 agents dans le domaine technique ; équivalent à 1413,4 ETP.
- 949 agents dans le domaine administratif ; équivalent à 879,4 ETP.
 - Dont 448 secrétaires médicales ; équivalent à 422 ETP.
- 492 agents dans le domaine médico-technique ; équivalent à 464,1 ETP.

L'effectif non médical totalise 9577 agents équivalent à 8904 ETP et compte 81% de femmes (7775) contre 19% d'hommes (1802).

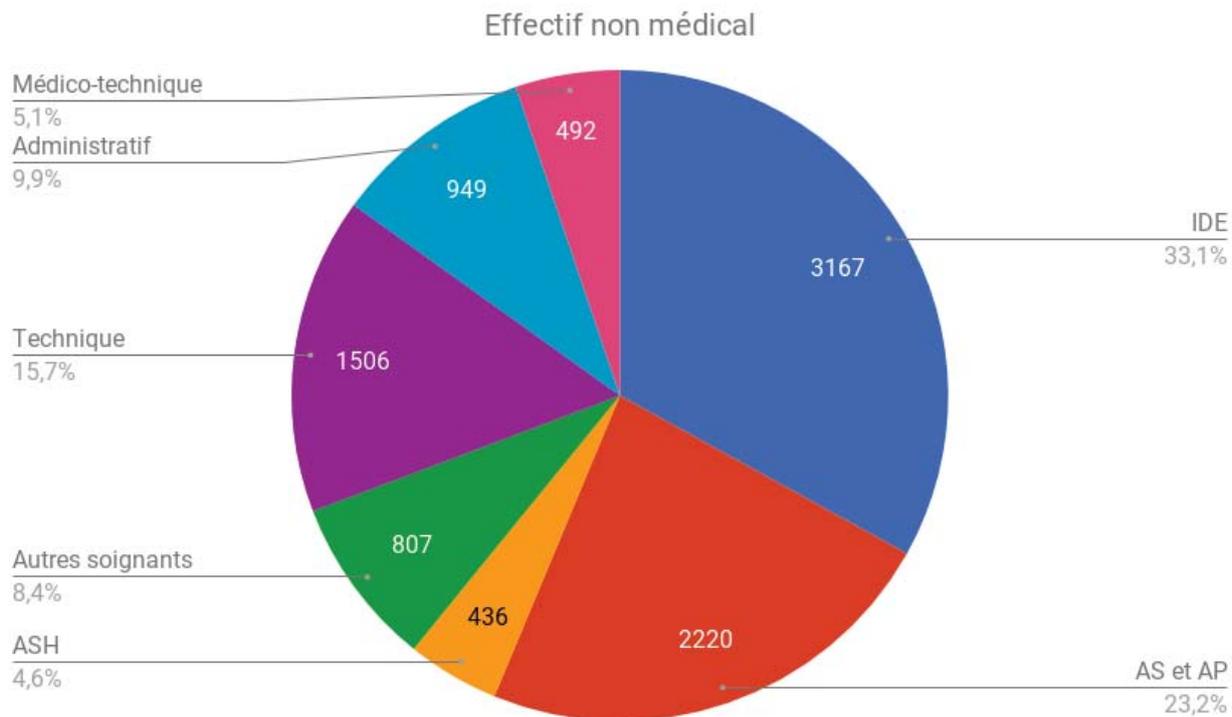


Figure 16 : Effectif non médical du CHU en 2017.

Source disponible dans la bibliographie(111).

3.2.1.2. Consommation de MEOPA au CHU

Afin d'évaluer la consommation de MEOPA au CHU, nous avons contacté la pharmacie hospitalière qui gère les commandes et la dotation des services, les services techniques qui gèrent les achats et le service qui s'occupe de la distribution des gaz conditionnés. En effet, c'est suite à la réalisation d'une EPP par le CLUD-SP en 2013, qui a permis de faire un état des lieux sur l'utilisation du MEOPA et la formation du personnel des services utilisateurs, qu'il a été décidé de suivre annuellement l'évolution des consommations de MEOPA au CHU. Nous avons donc obtenu les données de consommation annuelle de 2014 à 2017 qui nous ont renseigné sur :

- Les services consommateurs avec le code de l'unité, le lieu et le nom du service.
- Les produits consommés avec la charge, la dotation et la consommation totale du service en bouteilles (obus).

À la suite d'un changement récent de marché, le CHU est passé du KALINOX® d'Air Liquide à l'ENTONOX® de Linde. La plupart des services consomment des obus de 5 litres remplis à 170 bars contenant l'équivalent de 1,47 m³ de gaz sous pression. D'autres services, moins nombreux mais gros consommateurs, sont équipés d'obus de 15 litres remplis à 170 bars contenant l'équivalent de 4,4 m³ de gaz sous pression. On retrouve aussi quelques services qui consomment des obus de 2 litres remplis à 170 bars contenant l'équivalent de 0,59 m³ de gaz sous pression.

Il est important de préciser que les services consommateurs identifiés par la pharmacie ne sont pas les seuls à consommer du MEOPA, puisque pour certains d'entre eux, ils assurent des prêts de leurs obus aux unités voisines. Cependant, ce partage de MEOPA ne s'observe que pour des petits consommateurs (services

d'orthopédie par exemple). Afin de faciliter la présentation des résultats de consommation, nous avons regroupé les services par tranches de consommation en obus par an.

Le nombre de services consommateurs a augmenté de 2014 à 2017, en passant de 74 à 88 dont respectivement 23 et 29 d'entre eux consommaient plus de 10 bouteilles par an.

En 2017, 47 services ont consommé de 0 à 5 bouteilles par an, 12 services de 6 à 10, 22 services de 11 à 50, 4 services de 51 à 100, 2 services de 101 à 200, 1 service de 201 à 400 et aucun n'a dépassé les 401 bouteilles par an.

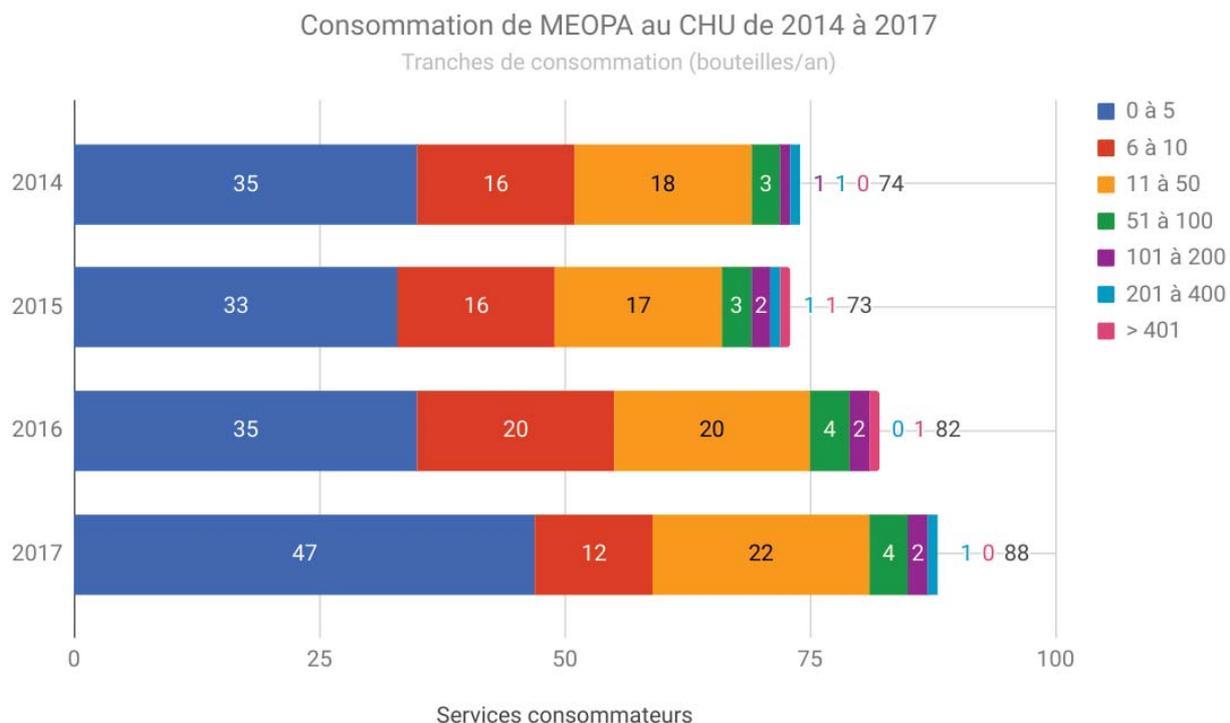


Figure 17 : Consommation de MEOPA au CHU de 2014 à 2017 : services.

Il s'agit du nombre de services consommateurs pour chaque tranche de consommation.

Le nombre de bouteilles consommées a augmenté de 2014 à 2015, passant de 1297 à 1748 pour diminuer à 1610 bouteilles en 2017. Au cours de cette période, la consommation annuelle moyenne était de 1593,5 obus.

En 2017, les 47 services de 0 à 5 bouteilles par an ont consommé 83 bouteilles, les 12 services de 6 à 10 ont consommé 86 bouteilles, les 22 services de 11 à 50 ont consommé 459 bouteilles, les 4 services de 51 à 100 ont consommé 270 bouteilles, les 2 services de 101 à 200 ont consommé 313 bouteilles et le service de 201 à 400 a consommé 399 bouteilles.

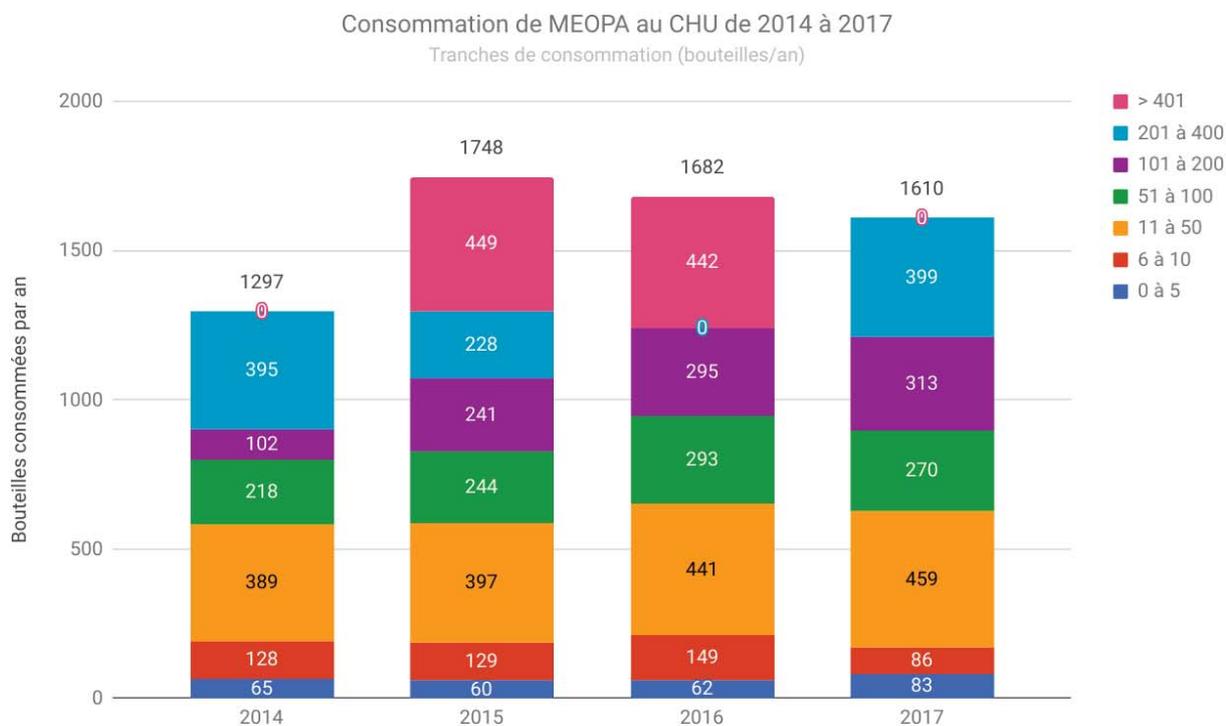


Figure 18 : Consommation de MEOPA au CHU de 2014 à 2017 : obus.

Il s'agit du nombre d'obus consommés par an pour chaque tranche de consommation.

La consommation de MEOPA rapportée au nombre de litres par an a augmenté de 2014 à 2015, passant de 6975 à 8930 litres pour diminuer à 8401 litres en 2017. Au cours de cette période, la consommation annuelle moyenne était de 8379 litres de gaz comprimé ou 2513,7 m³ de gaz libéré. A titre de comparaison, l'hôpital Trousseau, plus gros utilisateur de MEOPA en France, a consommé 4345 m³ en 2016 pour près de 30000 inhalations. La consommation hospitalière française a augmenté de 23518 m³ soit 30,1% du 2ème trimestre 2013 au 1er trimestre 2016 ; en ville la consommation a augmenté de 2868 m³ soit 230,2%(58). La consommation hospitalière en 2015 était de 192039 m³ contre 6602 m³ en extra-hospitalier(19).

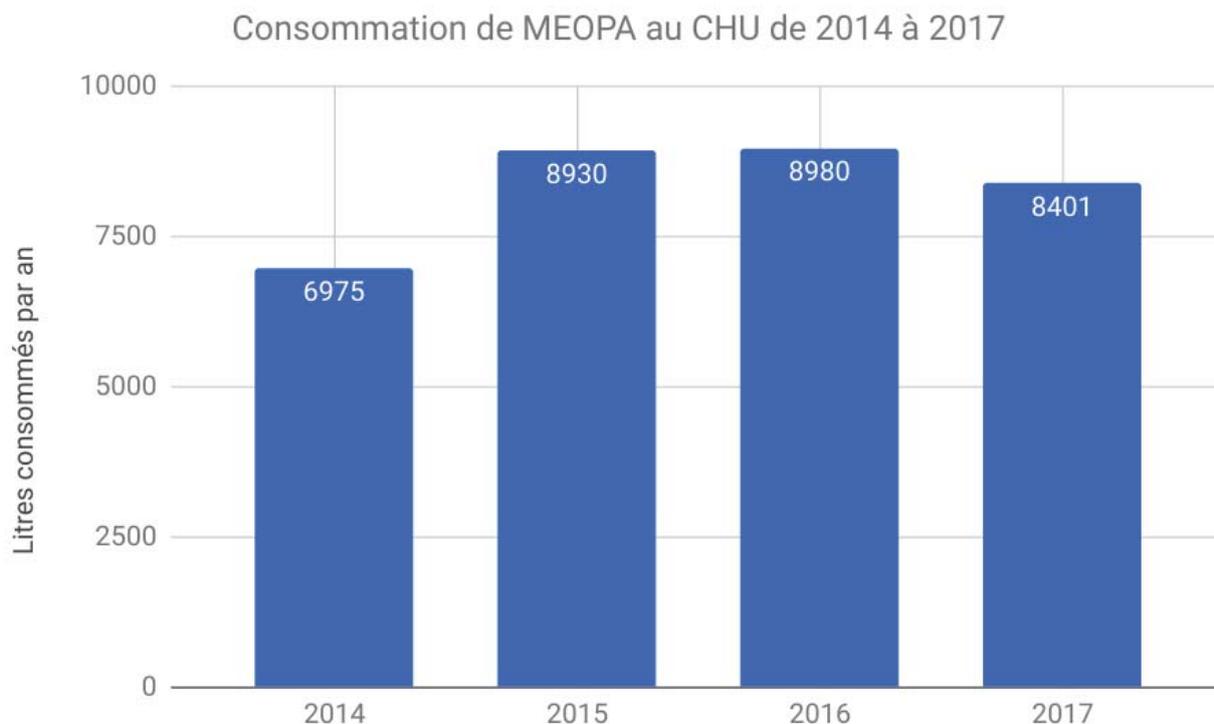


Figure 19 : Consommation de MEOPA au CHU de 2014 à 2017 : litres.

Il s'agit du nombre de litres consommés par an.

Afin de faciliter la lisibilité des résultats des moyennes de consommation, nous avons regroupé certains services consommateurs : 2 services de chirurgie digestive (CCDE), 2 services de gastro-entérologie, 2 services d'hématologie conventionnelle et stérile, 2 services de MPU, 3 services de neurologie, 2 services d'oncologie pédiatrique, 2 services du pôle Tête et Cou et 2 services de soins intensifs pédiatriques (USI pédiatrique). Les services consommant plus de 10 bouteilles par an sont au nombre de 26 dont 8 en pédiatrie et les services consommant moins de 10 bouteilles par an, au nombre de 49, sont regroupés dans l'intitulé "Autres".

Consommation moyenne en obus de MEOPA au CHU de 2014 à 2017

Services avec une moyenne de consommation annuelle supérieure à 10 bouteilles

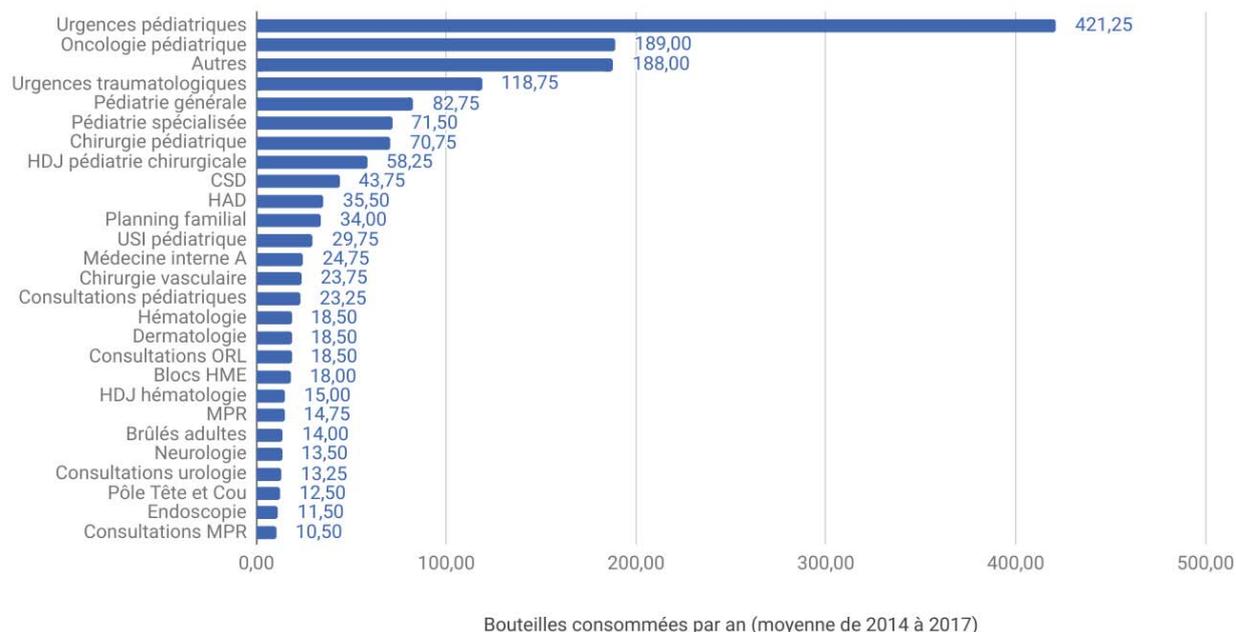


Figure 20 : Consommation de MEOPA au CHU de 2014 à 2017 : moyenne en obus.

Services avec une moyenne de consommation annuelle supérieure à 10 bouteilles et leur consommation en bouteilles par an.

Consommation moyenne en litres de MEOPA au CHU de 2014 à 2017

Services avec une moyenne de consommation annuelle supérieure à 10 bouteilles

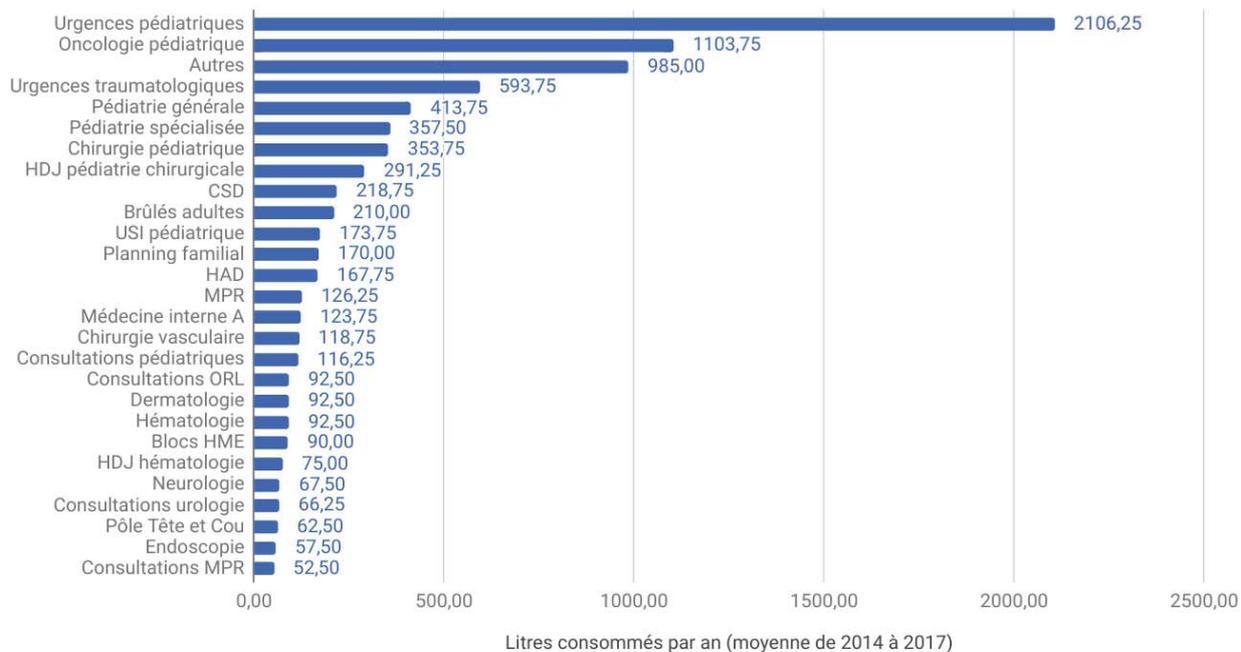


Figure 21 : Consommation de MEOPA au CHU de 2014 à 2017 : moyenne en litres n°1.

Services avec une moyenne de consommation annuelle supérieure à 10 bouteilles et leur consommation en litres par an.

Les services consommant plus de 10 bouteilles par an, au nombre de 26, se partagent 88,2% de la consommation globale moyenne du CHU soit 7394 litres pour 1405,5 bouteilles. Les services consommant moins de 10 bouteilles par an, au nombre de 49, sont regroupés dans l'intitulé "Autres" et représentent 11,8% de la consommation globale moyenne du CHU soit 985 litres pour 188 bouteilles.

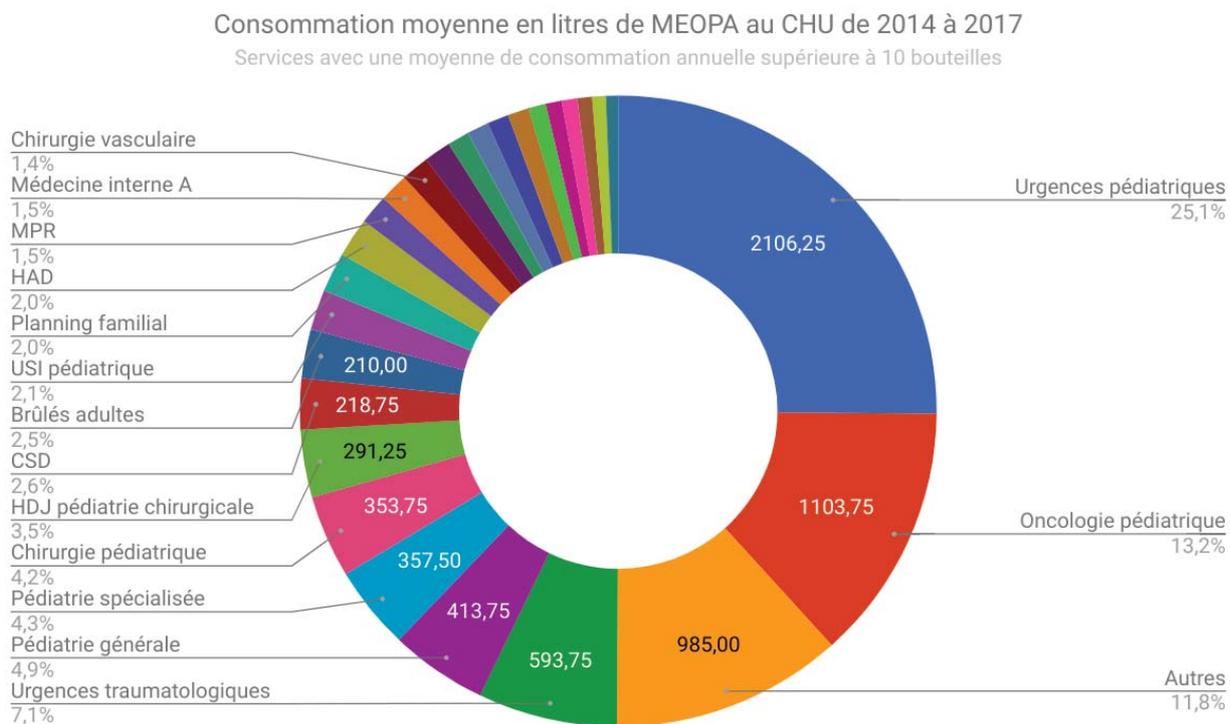


Figure 22 : Consommation de MEOPA au CHU de 2014 à 2017 : moyenne en litres n°2.

Services avec une moyenne de consommation annuelle supérieure à 10 bouteilles et leur consommation en litres par an.

L'ensemble des services consommateurs de pédiatrie, au nombre de 11, dont 8 parmi les services avec une moyenne de consommation annuelle supérieure à 10 bouteilles, représentent 59,4% de la consommation globale moyenne du CHU soit 4980 litres pour 959,25 bouteilles. Les 11 services de pédiatrie sont les urgences pédiatriques, l'oncologie pédiatrique, la pédiatrie générale, la pédiatrie spécialisée, la chirurgie traumatologique et des brûlés pédiatriques, l'hôpital de jour de pédiatrie chirurgicale, les soins intensifs de pédiatrie, les consultations pédiatriques, l'unité d'hospitalisation de courte durée pédiatrique (UHCD), la radiologie pédiatrique et l'hôpital de jour des adolescents. A titre de comparaison, le pôle pédiatrique des Hospices Civils de Lyon, qui regroupe des urgences, des services de médecine, chirurgie et rééducation fonctionnelle, consomme 7540 litres par an.

Consommation moyenne en litres de MEOPA au CHU de 2014 à 2017

Services avec une moyenne de consommation annuelle supérieure à 10 bouteilles

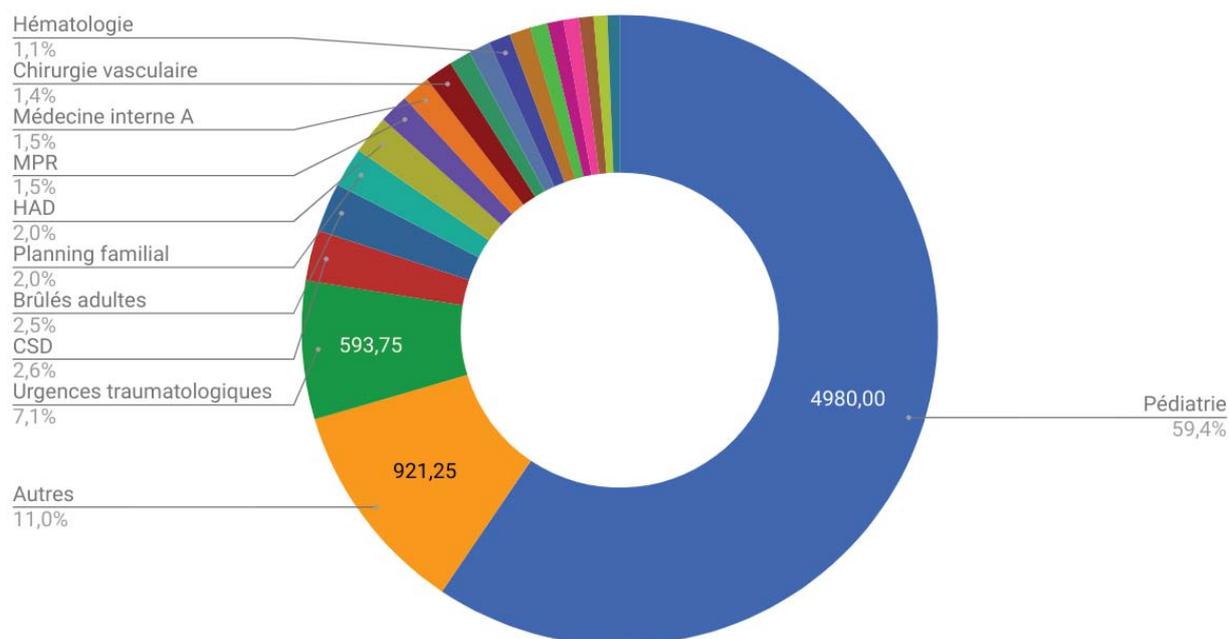


Figure 23 : Consommation de MEOPA au CHU de 2014 à 2017 : poids de la pédiatrie.

Il en ressort de ces analyses que les unités de pédiatrie, les urgences traumatologiques (et par extension l'ensemble des urgences adultes), le Centre de Soins Dentaires (CSD) et les brûlés adultes sont des services sur lesquels nous pouvons orienter notre attention pour l'évaluation des expositions et pratiques professionnelles liées à l'utilisation de MEOPA. La consommation annuelle de ces services est supérieure à 200 litres, que l'on peut estimer révélatrice d'une consommation régulière et non occasionnelle (estimation basée sur 10 inhalations pour 1,3 m³)(19).

D'autres services ont aussi attiré notre attention comme le planning familial, la médecine interne et la chirurgie vasculaire, avec une consommation annuelle supérieure à 100 litres, ou encore le service de réanimation chirurgicale par l'existence de conditions d'administration variées.

3.2.1.3. Évaluation de l'activité des services du CHU

Nous venons de voir que la consommation de MEOPA a été croissante de 2014 à 2016, suivie d'une discrète baisse entre 2016 et 2017. Mais comment expliquer cette hausse ? Elle pourrait s'expliquer par une modification des pratiques professionnelles ou encore par une variation de l'activité. Afin d'y voir plus clair, nous nous sommes dirigés vers des responsables du Programme Médicalisé des Systèmes d'Information (PMSI) du CHU pour estimer cette activité. Afin d'être plus précis dans notre évaluation, nous nous ne sommes pas contentés de comptabiliser les actes des unités médicales détentrices de MEOPA, nous avons étendu l'analyse aux services voisins géographiquement (même aile ou même étage) de même spécialité. Ainsi, nous avons obtenu des estimations sur l'activité annuelle des unités identifiées comme consommatrices de MEOPA, elles correspondent à des séjours hospitaliers ou à des actes de consultation.

Le graphique suivant représente l'activité globale des services consommateurs (et non de l'ensemble du CHU) et l'activité des unités de pédiatrie avec les consultations et les hospitalisations. On retrouve une évolution globale superposable à celle de la consommation de MEOPA, avec une hausse de 2014 à 2016, puis

une petite décroissance de 2016 à 2017. Cette hausse s’observe aussi en pédiatrie, mais la décroissance n’est retrouvée que pour les hospitalisations. Si ces résultats ne nous permettent pas de conclure d’un point de vue statistique, on note une évolution assez proche de l’activité avec la consommation de MEOPA. Néanmoins, il n’est pas possible d’établir de corrélation directe entre l’activité et le besoin d’utiliser du MEOPA. Quant à la piste d’une modification des pratiques professionnelles, on peut préciser que c’est suite à la réalisation d’une EPP par le CLUD-SP en 2013, qu’une campagne a été mise en place pour la sensibilisation et la formation des professionnels de santé à l’utilisation du MEOPA.

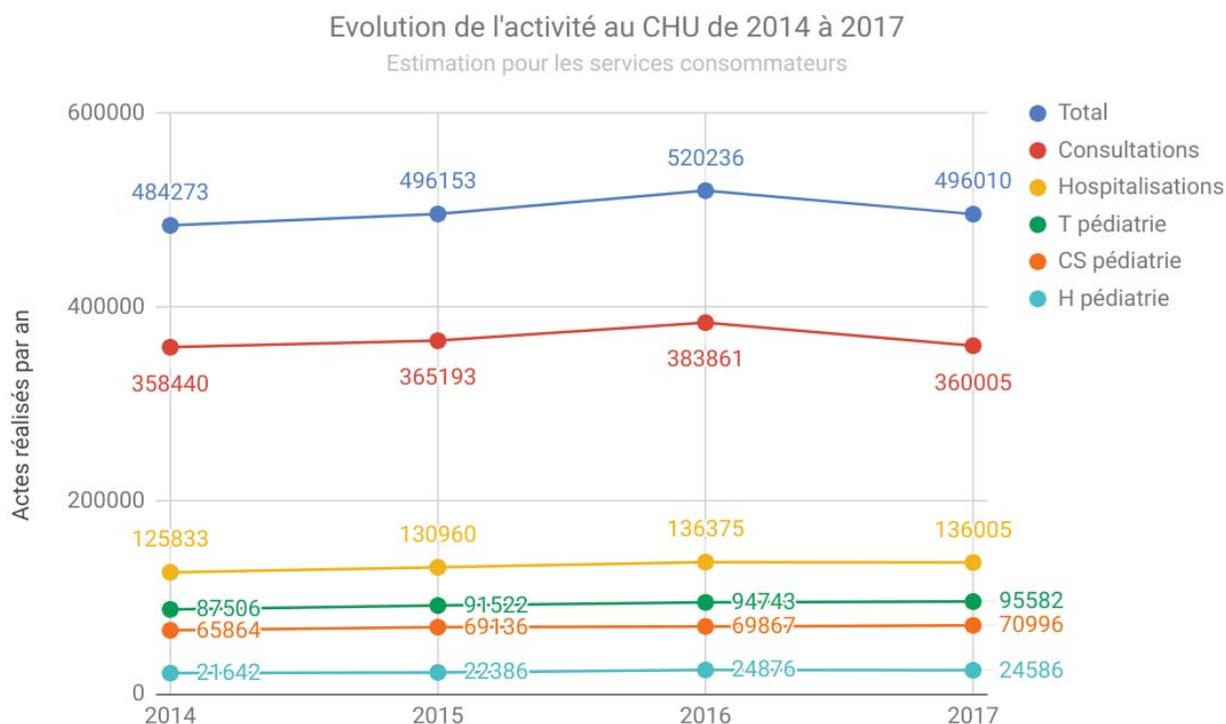


Figure 24 : L’évolution de l’activité des services consommateurs au CHU de 2014 à 2017.

Aide à la lecture : les actes comptabilisés sont issus des données du PMSI. Il s’agit d’une estimation. Les activités exercées en dehors du CHU (HAD) ou les actes CCAM (Classification Commune des Actes Médicaux, comme en endoscopie, en hémodynamique...) n’ont pas été pris en compte dans le calcul. Les services d’urgences sont identifiés comme des services de consultation.

3.2.2. Métrologie

C’est en accord avec le groupe “risque chimique” et la CARSAT que nous avons réalisé notre première série de prélèvements aux urgences pédiatriques, premier service consommateur du CHU avec une consommation annuelle moyenne de 2106,25 litres de MEOPA entre 2014 et 2017.

Notre seconde série de prélèvements s’est déroulée dans le service des brûlés adultes, après que le cadre de santé et les soignants nous aient fait part de symptômes récurrents survenant dans des conditions d’administration propres aux soins des brûlés.

Et pour notre troisième intervention, nous sommes intervenus en réanimation chirurgicale car les conditions d’administration y sont variées, et cela malgré leur faible consommation annuelle en raison de l’utilisation croissante d’une antalgie plus efficace chez leurs patients.

En complément de ces prélèvements, nous avons réalisé des relevés des caractéristiques aérauliques des installations de ventilation aux urgences pédiatriques, chez les brûlés adultes et en réanimation chirurgicale. Il s'agissait de mesurer les débits de soufflage et d'extraction d'air des bouches de la ventilation générale, ainsi que les débits d'extraction des prises SEGA.

3.2.2.1. Choix du matériel et de la méthode

Il existe plusieurs méthodes de prélèvement et d'analyse du protoxyde d'azote dans l'air ambiant(3,7,8) :

- L'air ambiant peut être analysé sur site à l'aide d'un spectrophotomètre infrarouge classique ou d'un détecteur photoacoustique portable.
- L'air ambiant peut être analysé sur site à l'aide d'un détecteur à cellule électrochimique portable, comme le G200/G210® de Bedfont actuellement testé par l'INRS.
- L'air ambiant peut être prélevé dans un support d'échantillonnage (tube Bio-VOC® ou sac Tedlar®) activement à l'aide d'une pompe, puis analysé en laboratoire par un spectrophotomètre infrarouge ou par un chromatographe en phase gazeuse.
- L'air ambiant peut être prélevé dans un tube contenant un support adsorbant spécifique, soit passivement, soit activement à l'aide d'une pompe, puis analysé en laboratoire par un chromatographe en phase gazeuse après désorption thermique.
- L'air ambiant peut être prélevé passivement à l'aide d'un badge adsorbant, puis analysé par un spectrophotomètre infrarouge ou par un chromatographe en phase gazeuse après désorption thermique ou chimique.

Les deux premières méthodes permettent la mesure à un instant donné des concentrations en ambiance dans un local et de déterminer les phases exposantes. Les autres méthodes permettent des prélèvements individuels en plaçant le dispositif de capture, le tube ou le badge, à proximité des voies respiratoires du salarié pendant une période donnée. Il est possible en actif, en utilisant une pompe, d'obtenir des prélèvements séquentiels et de déterminer les phases exposantes ; et en passif, pour une durée de recueil donnée, d'obtenir des concentrations en ambiance dans un local mais sans pouvoir déterminer les phases exposantes.

Le laboratoire de chimie analytique organique de l'INRS travaille depuis plusieurs années au développement de nouvelles méthodes de mesure et d'évaluation de l'exposition au protoxyde d'azote. Parmi les méthodes récentes, on retrouve le prélèvement dans un tube de désorption thermique contenant un tamis moléculaire de 5 Ångströms (30 à 40 Mesh), prolongé pour le prélèvement par un tube en inox de 4 cm rempli de mousse de polyuréthane de type Recticel® 28190 ou équivalent et muni d'un bouchon de diffusion équipé d'un filtre téflon. Il permet des prélèvements passifs sur un maximum de 4 heures, avec conservation jusqu'à 10 jours à température ambiante puis 12 jours à 4°C. S'en suit une analyse en chromatographie en phase gazeuse et spectrométrie de masse après désorption. Cette méthode développée par l'INRS est abrogée depuis le 27 juin 2018, le dispositif de prélèvement a été amélioré et la technique analytique préconisée permet une meilleure sensibilité.

Ainsi, depuis septembre 2017, la nouvelle méthode de référence développée et validée par l'INRS consiste en des prélèvements, soit passivement, soit activement à l'aide d'une pompe, dans un tube de désorption thermique rempli de zéolithe BaZSM5. Avant le prélèvement, il faut retirer le bouchon métallique de type Swagelok® à l'entrée du tube et y placer le bouchon de diffusion. Après le prélèvement, les deux extrémités des tubes sont fermées à l'aide de bouchons métalliques de même type. Il permet des prélèvements passifs allant de 1 à 4 heures, et actifs sur un maximum de 15 minutes, avec conservation

jusqu'à 5 jours à température ambiante puis 21 jours à 4°C. La méthode passive à long terme nécessite une mesure de température et d'humidité au cours du prélèvement. La méthode active à court terme implique l'utilisation d'une pompe stable très bas débit de 0,005 L/min. S'en suit une analyse en chromatographie en phase gazeuse et détection au micro-catharomètre (TCD)(112,113).

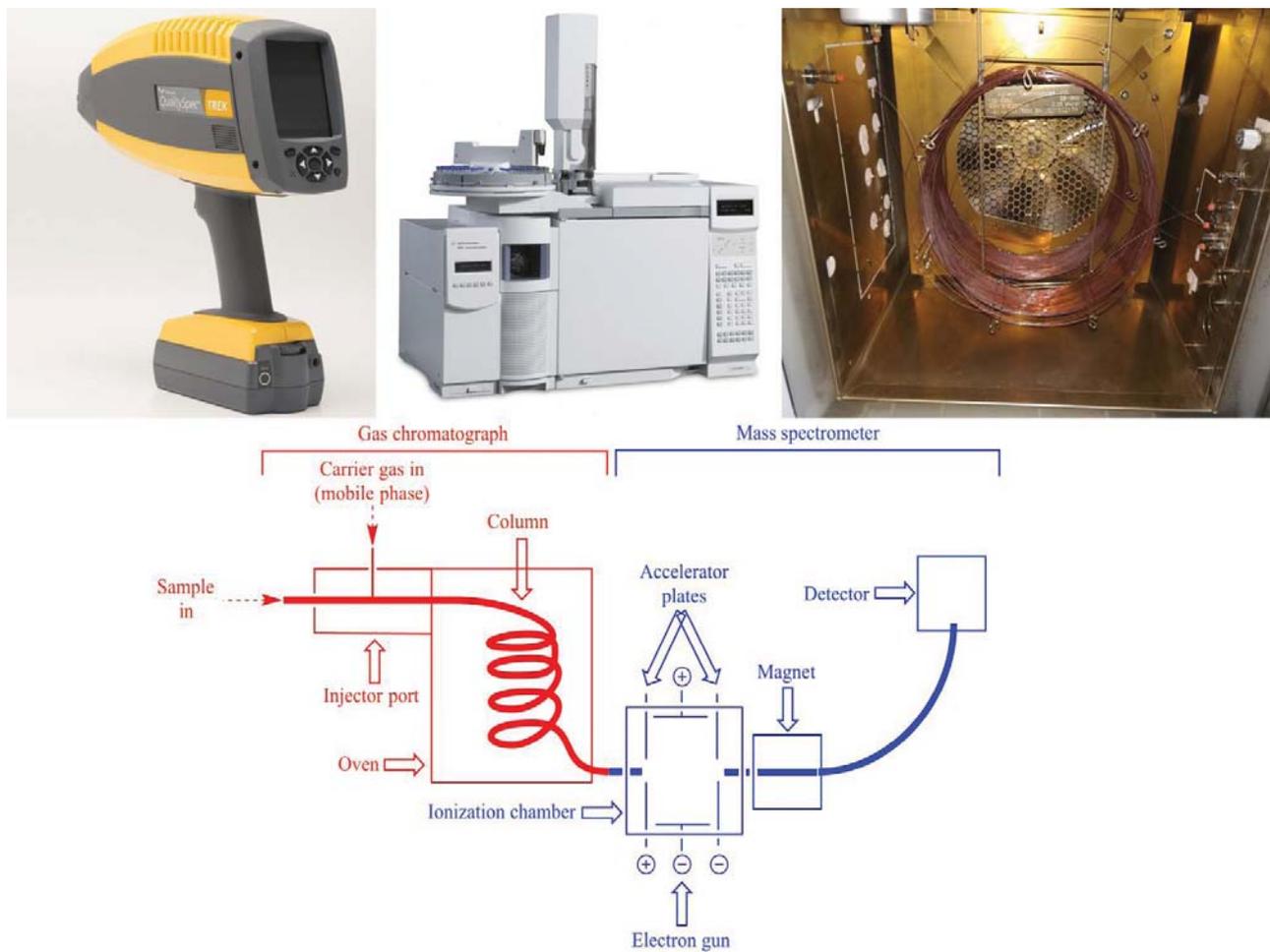


Figure 25 : Matériel utilisé en métrologie.

Légende, de gauche à droite et de haut en bas :

- 1) Exemple d'un appareil classique de spectrométrie infrarouge et visible portable^a.
- 2) Exemple d'un appareil de chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse GC-MS (Gas Chromatography-Mass Spectrometry)^b.
- 3) Intérieur d'un chromatographe en phase gazeuse, avec la colonne capillaire de chromatographie. Laboratoire Interrégional de Chimie de l'Ouest (LICO), CARSAT des Pays de la Loire.
- 4) Schéma illustrant le principe de fonctionnement d'un appareil de chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse GC-MS^c.

^a: MedicalExpo. Page commerciale. [En ligne] <http://www.medicaexpo.es/prod/malvern-panalytical/product-94317-836361.html>. Consulté le 09/09/18.

^b: BusinessWire. Page commerciale. [En ligne] <https://www.businesswire.com/news/home/20050601005266/en/Agilent-Technologies-Introduces-Industry-First-GCMS-System-Allowing>. Consulté le 09/09/18.

^c: Interior Decorating Ideas. Electron Ionization Mass Spectrometry Diagram. [En ligne] <https://interiordecoratingideas.club/galleries/electron-ionization-mass-spectrometry-diagram.html>. Consulté le 09/09/18.



Figure 26 : Schéma illustrant un tube de prélèvement au zéolithe.

Le bouchon de diffusion est représenté en vert(112).



Figure 27 : Matériel de prélèvement utilisé pour notre étude.

Légende, de gauche à droite et de haut en bas :

- 1) Tube de prélèvement au zéolithe fermé aux extrémités par deux bouchons de type Swagelok®. Laboratoire Interrégional de Chimie de l'Ouest (LICO), CARSAT des Pays de la Loire.
- 2) Tube de prélèvement au zéolithe équipé d'une pompe très bas débit Gilian® LFS-113D. Laboratoire Interrégional de Chimie de l'Ouest (LICO), CARSAT des Pays de la Loire.
- 3) Bouchon de diffusion pour tube de prélèvement au zéolithe. Laboratoire Interrégional de Chimie de l'Ouest (LICO), CARSAT des Pays de la Loire.

Dans notre étude, les prélèvements ont été réalisés par le Laboratoire Interrégional de Chimie de l'Ouest (LICO) de la CARSAT des Pays de la Loire, en collaboration avec le laboratoire INRS de Nancy.

Les prélèvements de novembre 2017 aux urgences pédiatriques, et ceux de juin et septembre 2018 chez les brûlés adultes et en réanimation chirurgicale, ont été faits en utilisant des tubes au zéolithe. Ces

derniers apportent une meilleure sensibilité, sans risque de rétrodiffusion par faible affinité entre le support et le protoxyde d'azote, ce qui était le cas avec le tamis de 5 Ångströms(114).

Lors de nos interventions, nous avions en notre possession le matériel de prélèvement suivant :

- Des tubes de prélèvements au zéolithe fournis à la CARSAT par le laboratoire INRS de Nancy, accompagnés de bouchons de type Swagelok® et de bouchons de diffusion spécifiques.
- Des pompes portatives très bas débit Gilian® LFS-113D avec débit réglable entre 5 et 350 cc/min. Les débits d'aspiration ont été réglés à 5 cc/min.

Les prélèvements effectués ont été envoyés par voie postale au laboratoire INRS de Nancy pour permettre une analyse dans le temps maximal de conservation de 26 jours.

3.2.2.2. Prélèvements individuels d'air ou d'air inspiré

Lors de nos interventions, nous étions deux personnes, un contrôleur de sécurité de la CARSAT et un médecin du Service de Santé au Travail du CHU. Avant chaque intervention, nous nous assurions d'avoir obtenu l'accord des services, de la direction hospitalière et de la CARSAT. Nous nous assurions également, après échanges avec l'encadrement des services, de la réalisation de soins et gestes techniques sous MEOPA lors de nos interventions.

A notre arrivée dans le service, nous nous présentions à l'équipe soignante et à l'encadrement en précisant les objectifs de nos prélèvements et les modalités de leur réalisation. Aux urgences pédiatriques, nous avons averti le personnel soignant du fait que chaque geste effectué sous MEOPA pendant la journée d'intervention devait être fait en notre présence et allait faire l'objet de prélèvements. Chez les brûlés adultes, nous avons averti le personnel soignant en charge des soins en balnéothérapie du fait que chaque soin effectué sous MEOPA dans la demi-journée d'intervention devait être fait en notre présence et allait faire l'objet de prélèvements. En réanimation chirurgicale, un seul soin sous MEOPA était prévu dans la demi-journée d'intervention, ce qui a facilité l'organisation du suivi.

A chaque administration de MEOPA, nous équipions chaque membre de l'équipe soignante concernée d'un tube de zéolithe muni d'une pompe très bas débit pour des prélèvements actifs séquentiels et d'un tube seul pour des prélèvements passifs. La pompe était placée dans une poche à hauteur de ceinture et reliée au tube par un tuyau. Les tubes étaient disposés au plus proche des voies aériennes des soignants, au niveau d'une poche par exemple, dans la zone respiratoire définie dans la norme EN 1540 comme étant "l'espace autour du nez et de la bouche dans lequel la respiration a lieu"(115).

Nous nous assurions de rester spectateurs en limitant au maximum les ouvertures des portes, en attendant la fin de l'administration pour échanger avec l'équipe pour ne pas interférer sur le déroulement de l'administration et du geste. Les temps d'administration du MEOPA et les entrées-sorties des soignants étaient notés.

Lors des administrations, les soignants étaient souvent deux, parfois trois. L'auxiliaire puéricultrice et l'aide-soignante se chargeaient le plus souvent de l'administration du MEOPA tandis que l'infirmière ou le médecin s'occupaient des soins et gestes techniques. Chez les brûlés adultes, l'aide-soignante laissait la possibilité aux patients de maintenir leur masque d'administration à condition qu'ils soient autonomes et se sentent à l'aise. En réanimation chirurgicale, l'aide-soignante et l'infirmière s'occupaient ensemble des soins et gestes techniques puisqu'elles n'avaient pas de masque à tenir.

Les prélèvements actifs commençaient dès le début de l'administration du MEOPA. Les tubes des prélèvements actifs étaient changés toutes les 15 minutes (durée maximale de prélèvement) et les pompes étaient arrêtées après la fin de l'administration jusqu'à la durée maximale de prélèvement. Les tubes des prélèvements passifs étaient portés pour une durée minimale d'une heure et enlevés à la fin des administrations ou au bout de 4 heures (durée maximale de prélèvement).

3.2.2.3. Prélèvements d'air ambiant

Nous avons réalisé des prélèvements d'air ambiant pour analyser l'exposition intercurrente et calculer l'exposition pondérée sur 8 heures du personnel se déplaçant dans le couloir du service ou rentrant dans la ou les pièces où se sont déroulées les administrations. Ainsi, pour obtenir la concentration en ambiance dans une pièce ou un couloir, nous avons disposé :

- Aux urgences pédiatriques : un tube muni d'une pompe placé dans le couloir en face des salles d'administration.
- Chez les brûlés adultes et en réanimation chirurgicale : un tube seul.

3.2.2.4. Calcul des taux pondérés sur 8 heures

Le calcul des taux pondérés sur 8 heures a été fait en multipliant le taux de N₂O inspiré (soit par un soignant, soit en ambiance) par la durée en minutes puis divisé par 480 pour établir le taux sur 8 heures (480 minutes)(3).

3.2.2.5. Évaluation des caractéristiques aérauliques des installations de ventilation

Il existe plusieurs techniques d'évaluation des caractéristiques aérauliques d'une installation de ventilation (voir en annexe 7) :

- Des techniques quantitatives qui permettent de contrôler le fonctionnement et de déterminer les vitesses et les débits d'air mis en jeu en différents points, ainsi que les pressions relatives entre les différentes parties d'une l'installation.
- Des techniques qualitatives d'estimation de l'efficacité de captage d'une installation par la visualisation des écoulements à l'aide de fumigènes, mettant en évidence la dispersion des polluants, le sens des écoulements, l'existence de fuites, de courants d'air et de phénomènes de turbulence à proximité d'obstacles (opérateurs, pièces...)(116).

Dans une conduite fermée où s'écoule de l'air, le calcul du débit d'air Q (m³/s) est fait en multipliant la section de conduite A (m²) où s'effectuent les mesures par la vitesse moyenne de l'air V_m (m/s) dans cette section. La vitesse moyenne est calculée à partir des vitesses locales mesurées en un certain nombre de points de la section de conduite. Le nombre et la position des points de mesure, définis dans la norme NF X 10-112, varient en fonction de la forme et des dimensions de la conduite. Les vitesses sont soit déterminées en utilisant un tube de Pitot double, soit mesurées directement à l'aide d'un anémomètre.

Lorsque la méthode décrite ci-dessus ne s'applique pas, comme dans notre cas pour l'évaluation d'un débit au niveau d'une bouche d'introduction ou d'extraction d'air, le débit peut être déterminé en faisant un champ de vitesse d'air à l'aide d'un anémomètre. La vitesse moyenne sera obtenue en calculant la moyenne

arithmétique des vitesses locales mesurées aux points définis par quadrillage et en prenant certaines précautions lors des mesures.

Dans notre étude, les mesures ont été réalisées au printemps 2017 par le Centre Interrégional de Mesures Physiques de l'Ouest (CIMPO) de la CARSAT de Bretagne.

Lors de nos interventions, nous avons en notre possession le matériel de mesure suivant :

- Un balomètre à fil chaud SwemaFlow® 125D muni d'un anneau de compensation pour les mesures au niveau des bouches de la ventilation générale.
- Des cônes en mat de verre (toile en fibres de verre) Kimo®.
- Un débitmètre TSI® 4040 H utilisé pour les mesures au niveau des prises SEGA et des colonnes d'extraction raccordées à la ventilation générale.
- Un anémomètre à fil chaud TSI® 8360.



Figure 28 : Matériel de mesure aéraulique.

Légende, de gauche à droite et de haut en bas :

- 1) Balomètre SwemaFlow® 125D^a.
- 2) Débitmètre TSI®^b.
- 3) Anémomètre Velocicalc® 9515-9525^c.

3.2.3. Éclairage de la pratique sur le terrain par la modélisation numérique

En 2016, des chercheurs d'Air Liquide Santé International ont publié une étude originale(117) sur la modélisation numérique de niveaux d'exposition au protoxyde d'azote chez des soignants. Cette approche

^a: SwemaFlow 125D. Page commerciale. [En ligne] <https://www.swema.com/instrument.php?p=SwemaFlow+125D>. Consulté le 24/02/19.

^b: Débitmètre massique - 4043 - TSI. Page commerciale. [En ligne] <http://www.directindustry.fr/prod/tsi/product-22441-1851077.html>. Consulté le 24/02/19.

^c: Anémomètre TSI Velocicalc 9515. Page commerciale. [En ligne] <http://www.intertek-instrumentation.com/virtuemart/anemometre/velocicalc-a-fil-chaud-9515-detail.html>. Consulté le 24/02/19.

appelée Mécanique des Fluides Numériques (MFN) ou Computational Fluid Dynamics (CFD) en anglais, consiste en l'étude des mouvements d'un fluide, ou leurs effets, par la résolution numérique d'équations^a. Son utilisation a été validée par des travaux antérieurs.

L'étude propose d'évaluer la distribution de la concentration de protoxyde d'azote dans une pièce au cours de 16 scénarios différents, représentatifs de situations réelles et s'appuyant de l'expérience de soignants. Pour chaque scénario, des paramètres environnementaux (taille de la pièce, type de ventilation et/ou de système d'extraction, nombre de sujets, température, nombre de fenêtres et de portes) et d'administration (débit, durée, mode d'administration continu ou intermittent, utilisation d'une valve à la demande et le nombre de répétitions successives des administrations) ont été spécifiés. La pièce a été modélisée de sorte que le patient soit situé au centre, accompagné d'un soignant. Une fuite a été simulée au niveau du masque, unique source de protoxyde d'azote dans la pièce, et correspondait à 10% du débit de MEOPA. Entre chaque phase d'administration, une phase de lavage a été incluse, et un capteur virtuel a été placé au niveau de la bouche du soignant pour le calcul de la VLEP.

Les résultats ont montré que le protoxyde d'azote ne s'est pas accumulé au niveau du sol comme on pourrait s'y attendre, la densité du gaz étant plus élevée que celle de l'air, mais tendait à se distribuer en panache orienté vers le plafond depuis la source d'émission. Ce phénomène peut s'expliquer par des mouvements de convection de l'air provoqués par des variations de températures induites par les personnes présentes dans la pièce. Les analyses ont retrouvé une influence claire du système de ventilation, le niveau de concentration était plus élevé sans ventilation active, en particulier avec des durées d'administration plus longues. La ventilation active induit un effet de plateau, stabilisant le niveau de concentration jusqu'à la fin de l'administration. L'administration sans valve à la demande a entraîné des niveaux de concentration plus élevés qu'avec son utilisation, en particulier pour des durées d'administration plus longues. La modélisation a également montré que la phase de lavage est sensible au nombre de fenêtres ou portes ouvertes, ainsi qu'aux gradients de température entre la pièce, le couloir et/ou l'extérieur. Toutefois, les auteurs ont précisé que parmi les biais identifiés, il y a l'absence de simulation des mouvements des praticiens, limite qui pourrait conduire à une surestimation de l'exposition sur ce modèle.

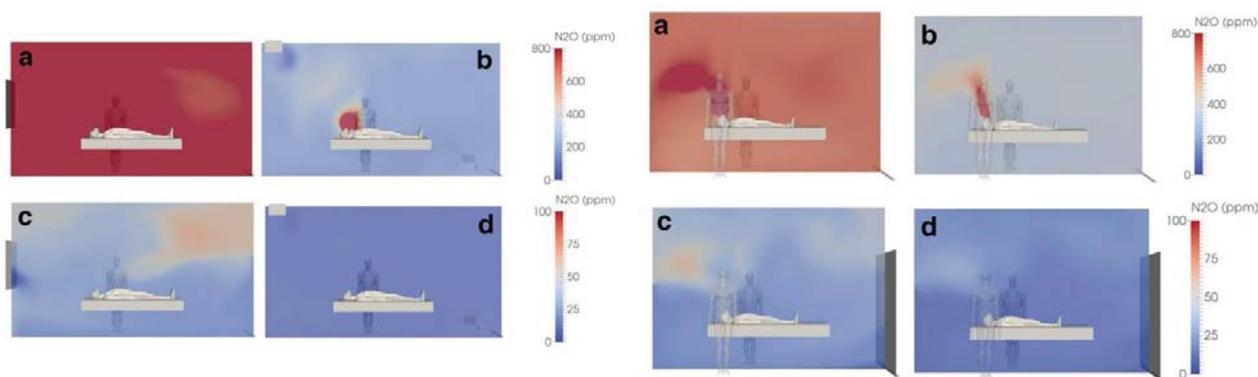


Figure 29 : Simulations de concentrations en N₂O par la MFN.

Légende, de gauche à droite :

- 1) Simulation des concentrations en protoxyde d'azote (en ppm) à la fin des 59 minutes d'une phase d'administration sans ventilation (a) ou avec une VMC à 5 volumes par heure (b) ; et après une phase de lavage de 40 minutes après l'ouverture d'une fenêtre (c) ou la présence d'une VMC à 5 volumes par heure (d).

^a: Wikipédia. Mécanique des Fluides Numérique. [En ligne]

https://www.wikiwand.com/fr/M%C3%A9canique_des_fluides_num%C3%A9rique. Consulté le 09/09/18.

- 2) *Simulation des concentrations en protoxyde d'azote (en ppm) à la fin des 59 minutes d'une phase d'administration sans (a) ou avec une valve à la demande (b) ; et après une phase de lavage de 15 minutes après l'ouverture d'une porte (c et d).*

3.2.4. Questionnaire

Comme nous l'avons évoqué précédemment, le suivi national du MEOPA est assuré par le CEIP et le CRPV de Nantes. Lors du CTP d'octobre 2013, il a été décidé de mettre à disposition des données d'utilisation plus précises en milieu hospitalier, et de conduire à une enquête auprès des pharmacies hospitalières, des Comités de Lutte contre la Douleur (CLUD) et des principaux services utilisateurs. L'objectif était de recueillir des données sur le profil des patients, les doses administrées, les durées et les modalités d'administration, mais aussi sur la livraison et la mise en place du MEOPA dans les services. S'inscrivant dans cette démarche, l'EPP réalisée au CHU de Nantes par le CLUD-SP avait pour objectifs d'évaluer la fréquence de consommation du MEOPA et la conformité de son utilisation par rapport aux recommandations du résumé des caractéristiques du produit, ainsi que d'envisager des pistes d'amélioration. Pour cela, une étude descriptive et transversale de type audit clinique a été réalisée sous la forme d'un questionnaire dématérialisé et proposé à tous les professionnels des services consommateurs de MEOPA. Un total de 234 professionnels de santé a répondu au questionnaire, représentant 81 unités différentes(118).

Ainsi, parallèlement au mesurage, nous nous sommes appuyés sur cette première évaluation pour élaborer un questionnaire dématérialisé d'une trentaine de questions (non disponible en annexe) à destination de l'ensemble des soignants du CHU amené à réaliser des actes ou soins sous MEOPA. Notre objectif principal était d'identifier les éventuels symptômes ressentis lors de l'utilisation de MEOPA et d'évaluer les pratiques professionnelles le concernant.

Ce questionnaire nous a permis de recueillir de nombreuses informations :

- Des renseignements généraux sur le personnel soignant exposé :
 - Âge, sexe, fonction, service, ancienneté dans le service, ancienneté dans la profession, horaires de travail, quotité de temps de travail et conditions de travail.
- Des renseignements sur l'utilisation et l'exposition au MEOPA :
 - Fonction du soignant au cours d'une administration, nombre moyen par semaine d'actes ou soins réalisés sous MEOPA, nombre moyen d'heures par semaine d'actes ou soins réalisés sous MEOPA, temps moyen d'une administration pour un patient, principales situations d'utilisation, participation à une formation et son ancienneté.
 - Évaluation de leur impression d'inhaler du MEOPA et leur avis concernant l'implication de certaines situations, symptômes rythmés par les administrations, symptômes en dehors du travail, survenue de difficultés conceptionnelles et/ou d'une fausse couche spontanée depuis leur exposition au MEOPA et leur avis concernant l'implication de ce dernier.
- Des renseignements complémentaires sur l'utilisation de MEOPA :
 - Stockage, prescription médicale, traçabilité dans le dossier patient, association à la prise de MEOPA d'un autre médicament contre la douleur en prémédication, moyens médicamenteux et/ou non médicamenteux associés au MEOPA, alternatives au MEOPA connues et employées, bonnes pratiques d'administration.

Le questionnaire était anonyme, sans recueil d'identité ou de données informatiques personnelles (adresse mail, adresse informatique IP). Le questionnaire a été conçu à l'aide du logiciel Sphinx 4.1 et diffusé durant l'été 2018 :

- Auprès du personnel soignant paramédical par l'intermédiaire des cadres de santé des services de soins après avoir obtenu l'accord et le soutien de la Direction des Soins du CHU. La première diffusion a eu lieu le 25 juin avec 2 relances fin juillet et début août.
- Auprès du personnel soignant médical par leur messagerie professionnelle du CHU après avoir obtenu l'accord de la Direction des Affaires Médicales du CHU. La première diffusion à l'ensemble des médecins a eu lieu le 29 juin avec une relance aux chefs de service début août.
- Auprès des internes en médecine par une liste de diffusion obtenue auprès du bureau responsable des internes au sein de la Direction des Affaires Médicales du CHU. La première diffusion a eu lieu le 29 juin avec une relance début août.
- Auprès des correspondants douleur par une liste de diffusion obtenue auprès du CLUD-SP. La première diffusion a eu lieu le 26 juin avec une relance à la mi-juillet.

Le message diffusé indiquait l'objectif de l'étude, les acteurs concernés et les moyens d'accéder au questionnaire. Le message proposait aux cadres de santé, aux correspondants douleur et aux chefs de service de véhiculer l'information et de faire connaître les moyens d'accéder au questionnaire. L'échéance du recueil a été fixée au 19 août 2018.

Afin d'assurer une meilleure diffusion du questionnaire, rendue difficile par la période estivale (congrés annuels des équipes, période chargée administrativement pour les cadres avec les entretiens annuels d'évaluation...), nous sommes passés dans les services pour présenter l'étude aux cadres de santé et aux équipes, autant que possible lors des transmissions, moments privilégiés pour échanger avec eux. Nous avons ciblé nos passages dans les services de soins les plus consommateurs. Cependant, comme nous nous sommes rendu compte que certains services ne répondaient pas suffisamment, nous avons repris contact avec les cadres de santé pour leur proposer de diffuser l'information directement sur la messagerie professionnelle de leurs agents. Nous avons réalisé une affiche présentant l'étude (voir en annexe 11), mise en pièce jointe de nos mails, imprimée et donnée aux services les plus consommateurs pour affichage en salle de pause ou de soins, et imprimée sous forme de flyers que nous avons distribué lors de nos passages dans les services. Nous nous sommes déplacés à 57 reprises dans les services et nous avons contacté et rencontré 31 cadres de santé sur 75 unités détentrices de MEOPA, dont 20 sur les 26 unités les plus consommatrices. A la fin juillet, nous avons mis en ligne un message d'information sur le service Intranet du CHU.

Parmi les autres difficultés rencontrées, il y a eu l'évaluation du taux de réponse, impliquant de récupérer les effectifs de chaque unité. Ainsi, nous avons diffusé un second questionnaire, court et destiné aux cadres de santé pour qu'ils puissent les renseigner. Mais en raison du faible nombre de réponses exploitables, c'est auprès de la Direction des Ressources Humaines que nous avons réussi à obtenir les effectifs non médicaux pour chaque pôle du CHU. Malgré ces résultats, la diffusion limitée et l'impossibilité de s'assurer du relai de l'information, explique notre impossibilité à obtenir des informations suffisamment précises pour être exploitables.

En ce qui concerne l'analyse des résultats, notre première étape était descriptive, précisant les principales caractéristiques de la population globale ou rapportée à des critères comme la réalisation d'une formation, la fréquence des administrations ou la déclaration d'un symptôme. Une analyse univariée avec le calcul du Khi2 (X^2) et un test de Cramer ont été faits pour tester l'indépendance entre les variables. Pour les symptômes, nous avons complété cette analyse par une approche multivariée par régression logistique binomiale et l'estimation de facteurs de risque (odds-ratio ajusté) avec un seuil de significativité de 5% (p value < 0,05). Les modèles de régression ont été élaborés après la sélection des co-variables par le Khi2 (p value < 0,2) et en s'assurant de l'absence d'une multicolinéarité (tolérance < 0,1). Le logiciel utilisé était SPSS 22.0.

3.3. Résultats

3.3.1. Moyens d'administrations et de recapture des gaz : de ceux utilisés au CHU aux alternatives existantes

3.3.1.1. Kit d'administration

Comme nous l'avons vu précédemment, le MEOPA peut être administré en débit continu avec une valve unidirectionnelle ou en débit libre avec une valve à la demande. Au CHU de Nantes, les services administrent en débit continu à l'aide d'un kit d'administration de la marque Intersurgical :

- A usage unique pour la plupart des services, sans utilisation de filtre ; le ballon réservoir, la valve unidirectionnelle et la tubulure de raccordement au MEOPA sont changés entre chaque patient.
- Réutilisable pour certains services, jusqu'à 15 fois selon le fournisseur, à condition de changer le filtre entre chaque patient ; le ballon réservoir, la valve unidirectionnelle et la tubulure de raccordement au MEOPA sont conservés entre chaque patient.

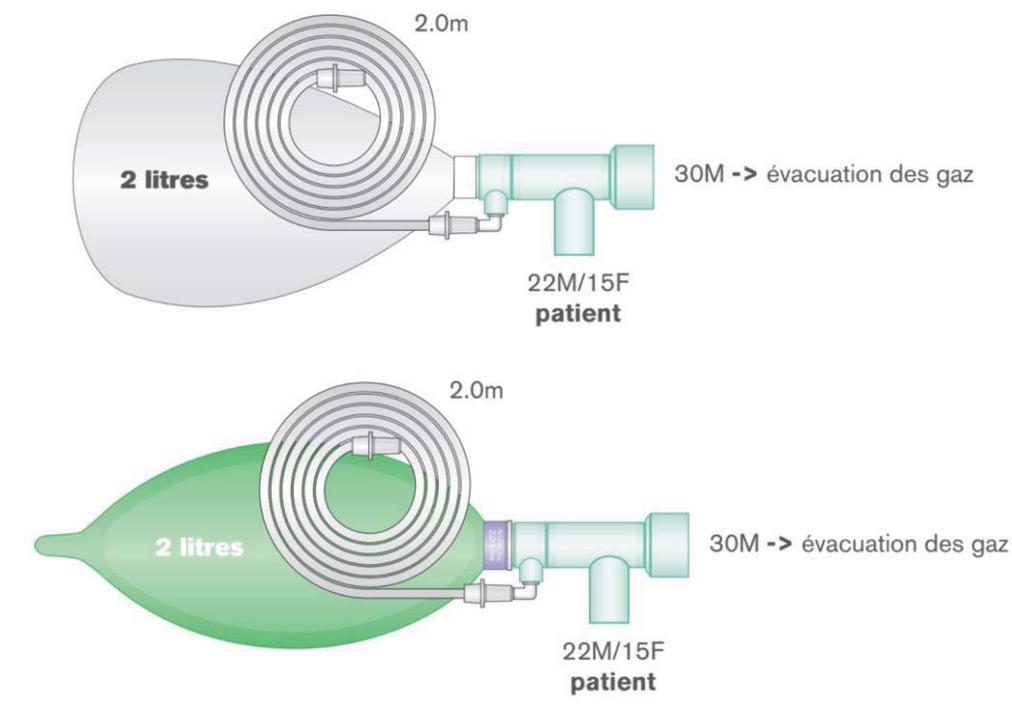


Figure 30 : Kits d'administration Intersurgical.

Kit à usage unique en haut et réutilisable en bas^a.

Pour ce qui est du CSD, ils utilisent un dispositif spécifique à l'odontologie, appelé circuit de Bain où l'ensemble valve avec surpression réglable, ballon et raccordement au gaz est déporté du patient. Une canalisation interne permet quant à elle d'apporter le gaz frais directement au niveau du raccord patient. Ces caractéristiques permettent de réduire l'encombrement du circuit à la connexion patient et de laisser le champ libre au praticien. Le montage est réutilisable jusqu'à 15 fois selon le fournisseur, à condition de

^a: Intersurgical. Masques d'anesthésie. [En ligne] <https://fr.intersurgical.com/produits/anesthésie/masques-danesthésie>. Consulté le 09/09/18.

changer le filtre entre chaque patient. Le ballon, la valve de Bain et le raccordement au MEOPA sont conservés entre chaque patient.

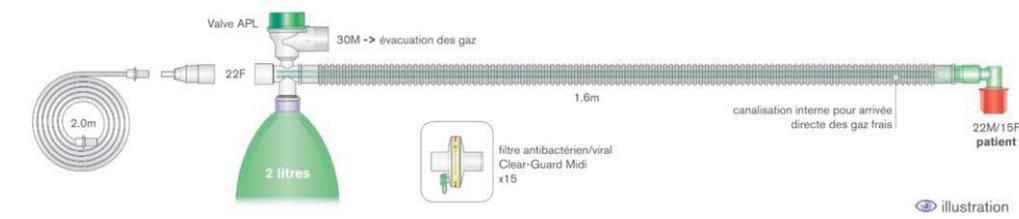


Figure 31 : Kit d'administration Intersurgical réutilisable pour odontologie.

Source disponible en bas de page^a.

3.3.1.2. Valve à la demande

L'utilisation d'une valve à la demande permet d'administrer en débit libre, de diminuer la consommation de gaz(119), la diffusion n'ayant lieu qu'à l'inspiration, et de limiter les fuites aux mouvements du masque ou à l'ouverture et fermeture de la bouteille. Elle est réutilisable, moyennant l'utilisation d'un filtre. Il existe plusieurs fournisseurs, Linde avec la valve ENTONOX[®], GCE avec la valve EASE II[®] et O-Two Medical Technologies avec la valve EQUINOX II[®] pour les plus connus.

Sur les sites de Linde et GCE, il est précisé que le débit maximal des valves est respectivement de l'ordre de 200 à 300 L/min et la résistance inspiratoire de 0,015 et 0,007 bar à 200 L/min et de 0,0025 et 0,002 bar à 10 L/min.

Ce dispositif n'étant pas utilisé au CHU, une première étude nantaise a été faite par le CLUD-SP de décembre 2015 à août 2016 dans le service des brûlés adultes du CHU, comparant l'utilisation d'une valve à la demande au kit d'administration usuel, et les symptômes ressentis par l'équipe soignante. Pour ce faire, une valve à la demande a été prêtée au service par le laboratoire Air Liquide pour une durée de 3 mois. Les pratiques d'utilisation du MEOPA et les symptômes ressentis à son administration ont été évalués par un questionnaire destiné aux soignants participant aux soins ; avec une première période de 3 mois avec valve à la demande, et une seconde période de 4 mois sans valve. L'analyse des questionnaires a montré que dans les deux cas, les principaux effets secondaires ressentis étaient des céphalées, des nausées et des cervicalgies, pour des soignants majoritairement positionnés à la tête du patient et sur des durées longues d'au moins 45 minutes. Cependant, si les auteurs n'ont pas identifié de supériorité d'une méthode sur l'autre, certains soignants n'ayant pas vu d'amélioration notable de leurs symptômes, ils ont émis l'hypothèse de facteurs de confusion liés aux conditions d'utilisation en balnéothérapie du service des brûlés.

Une autre étude, avec des prélèvements réalisés par la CARSAT de 2015 à 2016 au CHU de Rennes, objectivait des diminutions significatives des expositions avec des taux de 560-1200 ppm sur 20 prélèvements avec prise SEGA et valve à la demande, contre 3600-4500 ppm sans prise SEGA et sans valve à la demande, et contre 1300-2600 ppm avec prise SEGA et valve classique. Cette dernière étude encourageante va dans le sens d'une étude réalisée en 2004 dans le service d'odontologie du CHU de Clermont-Ferrand, où les VME quotidiennes moyennes étaient significativement abaissées lors de l'utilisation du circuit à la demande, non seulement les jours d'administration mais aussi les jours sans administrations ($15,3 \pm 23,1$ ppm en débit libre

^a : Intersurgical. Circuits et accessoires pour inhalation du mélange O₂/N₂O. [En ligne]
<https://fr.intersurgical.com/content/files/68570/2085920923>. Consulté le 09/09/18.

et $32,3 \pm 25,1$ ppm en continu, $p < 0,05$)(120). Enfin, en s'appuyant de la base de données COLCHIC, l'INRS précise que les valves à la demande permettent de diminuer les niveaux d'exposition maximum et moyen du personnel soignant, mais on ne retrouve que 9 mesures les concernant : les concentrations maximales en protoxyde d'azote sont à 681 ppm avec valve contre 1900 ppm sans protection et les concentrations moyennes à 208 ppm contre 516 ppm(8).

3.3.1.3. Masque et filtre

Qu'il soit nasal ou naso-buccal, le masque peut être réutilisable (souvent fait en silicone). S'il existe plusieurs fournisseurs et références, ceux utilisés au CHU pour l'administration de MEOPA sont à usage unique et de la marque Intersurgical. Le masque d'inhalation est adapté à la taille du patient, avec des tailles allant de nouveau-né à extra-grand adulte (de 0 à 6) pour le modèle naso-buccal.

L'utilisation d'un masque de la bonne taille est un point important, tant pour le confort du patient que pour éviter des fuites. Le masque peut aussi être parfumé pour la pédiatrie et perforé pour permettre l'insertion d'un endoscope ou fibroscope, par exemple pour la réalisation d'une Échographie cardiaque Trans-Œsophagienne (ETO).

Un filtre à usage unique n'est nécessaire qu'avec l'utilisation d'un kit d'administration réutilisable ou d'une valve à la demande.

3.3.1.4. Système Accutron®

Depuis 2013, la société Air Liquide commercialise un système d'administration odontologique actif appelé Accutron®. Il comporte un tuyau d'évacuation des gaz à brancher sur l'aspiration du fauteuil dentaire, le taux d'aspiration est réglable à partir d'une valve de dépression. Le système nécessite l'utilisation d'un kit d'administration classique connecté au kit d'administration actif avec masque nasal à usage unique ou réutilisable.

Le système apporte un gain de confort pour le patient et le praticien, ce dernier n'ayant plus besoin de mobiliser le masque au cours des soins. Malgré cet avantage incontestable, le système reste coûteux et chez le jeune enfant, il est difficile d'obtenir une respiration uniquement nasale, ce qui rend le dispositif peu efficace(104,121). Ce dispositif n'est pas utilisé au CHU.



Figure 32 : Montage d'administration du MEOPA avec le système Accutron®.

On distingue le kit principal raccordé au MEOPA par une tubulure et au système d'administration actif par un connecteur. Un connecteur permet de fixer le masque nasal sur le kit actif : le gaz frais arrive par les raccords latéraux du masque et les gaz expirés passent par le connecteur puis vers le kit actif^a.

3.3.1.5. Masque à double enveloppe

La société belge Puramed commercialise un système d'administration par masque avec recapture à la source produit par la société suédoise Medicvent. Il s'agit d'un masque à double enveloppe réutilisable et raccordé à une aspiration. Il se compose principalement de 3 parties :

- Un masque interne en silicone souple qui adhère uniformément au visage du patient, avec un diffuseur interne assurant un mélange de gaz frais optimal.
- Un masque externe en polysulfone rigide qui forme un espace dans lequel les fuites de gaz sont aspirées.
- Un connecteur d'évacuation des gaz expirés et aspirés.

Il est également possible de connecter le masque à une valve à la demande ou à un respirateur d'anesthésie et d'utiliser une mentonnière afin de réduire davantage les fuites au niveau du menton. Des mesures pendant et après l'administration de MEOPA, avec le masque ou avec la combinaison masque et mentonnière, ont montré une réduction des expositions en-deçà des valeurs limites.

^a: Cabargas Healthcare. Kalinox®. [En ligne]

https://healthcare.carbagas.ch/sites/alh_ch/.../kalinox_a4_fr_ansicht_19.07.16.pdf. Consulté le 09/09/18.

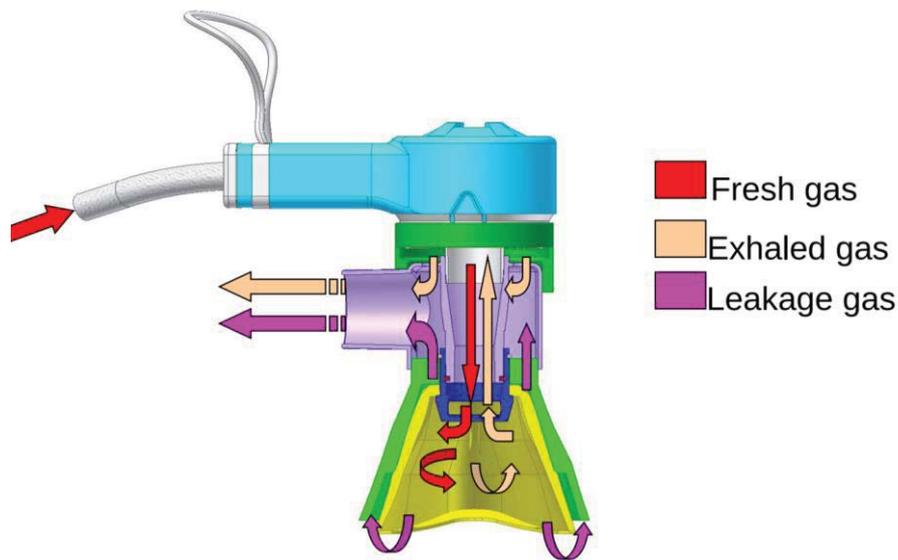


Figure 33 : Schéma d'un masque double enveloppe Medicvent.

Le masque est connecté à une valve à la demande (en bleu clair). On retrouve l'enveloppe interne (en jaune), avec son diffuseur interne (en bleu foncé), l'enveloppe externe (en vert) et le connecteur (en violet). Le gaz frais est représenté en rouge, les gaz exhalés en beige et les gaz aspirés en rose(122).

Le connecteur d'évacuation doit être raccordé à un système d'aspiration spécifique, assurant l'évacuation de 500 à 600 litres de gaz par minute. Le connecteur peut être connecté à :

- Un système d'aspiration centralisée dans le cas d'une administration fixe (bloc opératoire ou salle dédiée) ou mobile, à condition de disposer d'un réseau d'évacuation des gaz dédié autre que le vide médical et les SEGA (pour des raisons de débits).
- Un système d'évacuation mobile dans le cas d'une administration mobile.

Pour le deuxième cas de figure, le débit d'air est généré par un système d'aspiration mobile, compact et équipé d'un ventilateur haute performance. Le système est positionné dans un caisson insonorisé, équipé de 4 roues pivotantes et une prise dédiée permet d'évacuer les gaz par un tuyau.



Figure 34 : Centrale d'aspiration mobile et masque double enveloppe Medicvent.

Le masque est connecté à une valve à la demande. CLUD-SP du CHU de Nantes.

Ce système déjà commercialisé en Belgique, au Luxembourg, aux Pays-Bas et en Grande-Bretagne, ne l'est pas encore en France. En 1996, une étude a montré que l'utilisation d'un masque à double enveloppe permet de réduire les taux d'exposition au niveau d'un anesthésiste de 134-714 ppm à 9-42 ppm(49,123). Et en 2005, une autre étude qui comparait l'utilisation d'un masque conventionnel à celle d'un masque à double enveloppe, a également retrouvé une réduction des taux d'exposition au niveau d'une infirmière de 69 à 40 ppm(30,124). Si à l'heure actuelle la CARSAT et l'INRS n'ont pas encore validé le système, des tests sont actuellement réalisés à Nancy, et une évaluation faite au CHU de Rennes au printemps 2018 nous apporte des résultats intéressants : sur les 24 prélèvements réalisés, la moyenne était de 18 mg/m³ (soit 10 ppm) pour une médiane de 13 mg/m³ (soit 7 ppm). Ces résultats, confirmés par lecture directe, sont nettement inférieurs à la valeur de référence (45 mg/m³), et aucune différence significative n'a été constatée à l'utilisation d'un masque double enveloppe avec ou sans valve à la demande. Par ailleurs, il en ressort une réduction des céphalées chez les soignants et une bonne adaptabilité du masque(125,126).

3.3.1.6. Autres systèmes de recapture

Les autres systèmes de recapture les plus fréquemment retrouvés en milieu hospitalier sont :

- La prise SEGA intégrée dans les gaines et les bras plafonniers, assurant un débit d'aspiration de 20 à 60 litres par minute respectivement sous air comprimé et sous vide ; elle permet d'extraire les gaz du tuyau d'évacuation d'un kit d'administration ou d'une valve à la demande.
- La Ventilation Mécanique Contrôlée (VMC) couplée à une colonne d'extraction raccordée à la ventilation générale, assurant un débit d'aspiration variable, souvent de plusieurs centaines de mètres cubes par heure ; elle permet de recueillir les gaz du tuyau d'évacuation d'un kit d'administration ou d'une valve à la demande.
- Des dispositifs articulés muraux comme un bras d'aspiration à la source, assurant un débit d'aspiration variable selon le diamètre du bras et la puissance du moteur, souvent de plusieurs centaines à plusieurs milliers de litres par minute.

La mise en place de tels systèmes n'est pas une problématique récente. Ainsi, une étude de 1983 a montré l'efficacité d'un dispositif de recapture des gaz exhalés sur la pollution des locaux(23,127). A contrario, une autre étude de 1996 a retrouvé des taux d'exposition dépassant les valeurs recommandées chez des sages-femmes exposées au protoxyde d'azote dans un environnement de travail confiné sans ventilation efficace(30,128). De nos jours, ces systèmes sont utilisés dans de nombreux hôpitaux, par exemple aux États-Unis où les appareils d'administration approuvés en obstétrique par la Food and Drug Administration (FDA) sont désormais équipés de dispositifs de récupération des particules de gaz expirés au sein d'un réservoir à déchet approprié(85,129).

En ce qui concerne le CHU, chaque local est équipé d'une bouche d'extraction et l'air neuf est amené par une bouche de soufflage, une bouche d'entrée d'air naturel ou par le passage d'air sous la porte. A cela s'ajoute, pour certaines pièces, une prise SEGA et/ou une VMC couplée à une colonne d'extraction. La VMC peut être activable ou fonctionner en continu. Ces différents systèmes sont contrôlés périodiquement comme le précise la réglementation (arrêté du 25 avril 1985 et du 3 octobre 1995).

L'INRS précise que pour une pleine efficacité du captage à la source, il doit se trouver entre la source d'émission et la personne à tout moment de l'intervention, à condition que la vitesse du flux d'air générée suffise à capter les gaz émis. Mais ces systèmes doivent être complétés par une ventilation générale efficace, l'air extrait doit être compensé par de l'air neuf, ce qui permet de diluer et d'évacuer les gaz non captés. Enfin, les données de la base COLCHIC nous montrent que les prises SEGA et les VMC permettent de diminuer le niveau d'exposition moyen du personnel soignant : les concentrations moyennes en protoxyde d'azote sont respectivement à 305 et 200 ppm avec les systèmes contre 516 ppm sans protection. Les systèmes de recapture à la source semblent encore plus efficaces mais les données COLCHIC sont moins nombreuses (4 mesures), ce qui ne permet pas de tirer de conclusion : les concentrations maximales et moyennes en protoxyde d'azote sont respectivement à 87 et 74 ppm avec les systèmes contre 1900 et 516 ppm sans protection(8).

3.3.1.7. Systèmes de destruction

Lorsqu'une grande partie du protoxyde d'azote est recapturée, il est possible de le séparer pour le purifier et le réutiliser. Cependant, la faible capacité de recapture des zéolithes (cristaux formés d'un squelette microporeux d'aluminosilicate) rapidement saturées, le coût de la purification et le prix compétitif des gaz frais rendent le processus moins attractif. Une seconde approche semble plus intéressante, à savoir la destruction du protoxyde d'azote, qui peut se faire de différentes façons.

Le protoxyde d'azote peut être oxydé, c'est-à-dire que l'on va "introduire" plus d'oxygène dans la molécule, ce qui va donner des composés comme le dioxyde d'azote (NO_2) ou de façon plus générale des oxydes d'azote (NO_x). La réaction chimique entre protoxyde d'azote et dioxygène va se faire par combustion, impliquant l'utilisation d'un incinérateur et parfois d'un combustible externe. Mais comme le système produit trop de NO_x , d'après une étude de 2011, celui-ci ne semble pas être une bonne alternative. Il est également possible d'oxyder le protoxyde d'azote à de plus faibles concentrations, en utilisant un catalyseur chauffé sans adjonction de combustible externe, et à condition de le maintenir à une certaine température. Mais ce système produit également des NO_x , molécules connues pour leur fort pouvoir de réchauffement climatique.

Le protoxyde d'azote peut aussi être réduit, c'est-à-dire que l'on va "éliminer" l'oxygène dans la molécule, ce qui va donner du diazote (N_2) et de l'eau (H_2O). La réaction chimique va se faire par catalyse avec transfert d'oxygène entre protoxyde d'azote et un agent réducteur comme un gaz organique ou du dihydrogène (H_2). Si la température du catalyseur n'a pas besoin d'être très élevée, le système consomme trop d'oxygène (20% contre 0,2% de protoxyde d'azote). Pour être intéressant, le processus catalytique doit

être sélectif, on parle alors de Réduction Catalytique Sélective (RCS), technique fréquemment utilisée dans l'industrie et dans nos véhicules.

Une troisième méthode permet de fractionner la molécule de protoxyde d'azote (N₂O) en diazote (N₂) et dioxygène (O₂), en utilisant un catalyseur chauffé à des températures de 400 à 500°C, et à condition qu'il soit chauffé en permanence. Le processus produit peu de NOx.

Depuis 2004, la société japonaise Showa Denko propose le système Anesclean SW[®], dispositif capable d'assurer la recapture et la décomposition du protoxyde d'azote par fractionnement catalytique. La Suède, qui a pour objectif de réduire de 50% le niveau des émissions de protoxyde d'azote de ses hôpitaux, a expérimenté ce système au Karolinska University Hospital de Huddinge(49,130).

3.3.2. Études de poste

Des études de postes ont été faites dans les services où des prélèvements ont eu lieu, c'est-à-dire aux urgences pédiatriques, chez les brûlés adultes et en réanimation chirurgicale. Cependant, lors de nos déplacements dans les services pour diffuser le questionnaire, nous avons pu identifier d'autres pratiques et situations d'exposition.

3.3.2.1. Service des urgences pédiatriques

Le service des urgences pédiatriques se situe au rez-de-chaussée bas de l'Hôtel-Dieu, dans un bâtiment spécifique aux urgences. Le service compte 12 boxes, 5 de médecine, 5 de chirurgie et 2 de traumatologie dont une salle de déchoquage. Les boxes sont de dimension variable, avec une superficie variant d'une dizaine à une vingtaine de mètres carrés (volume moyen de 25 à 50 m³), et la plupart d'entre eux n'ont pas de fenêtre. Chaque box est équipé d'une VMC couplée à une colonne d'extraction générale sur laquelle il est possible de fixer un tuyau d'évacuation des gaz dans certains boxes. L'ensemble des VMC du service est activable par un bouton placé dans la salle de soins. Deux boxes de médecine (salles 1 et 2) sont aussi équipés d'une prise SEGA. Le matériel d'administration est stocké dans les différents boxes. Les bouteilles ne sont pas stockées dans un espace dédié : très utilisées, elles sont fréquemment laissées dans les boxes, la salle de soins ou parfois dans les couloirs.

Le box de plâtre a attiré notre attention car il est équipé de deux tables d'examen et de deux VMC couplées à une colonne d'extraction générale, de deux bouches de soufflage, de deux portes coulissantes et ne possède pas de fenêtre. En posant la question à l'équipe, il s'avère que le personnel réalise une seule administration de MEOPA à la fois dans cette pièce. Les soignants raccordent le tuyau d'évacuation sur la VMC ou la prise SEGA à chaque administration.

L'équipe paramédicale est constituée d'une infirmière d'accueil et d'orientation par tranche horaire, d'une infirmière circulante l'après-midi et de deux auxiliaires de puériculture le matin et trois l'après-midi. L'équipe travaille en 2 x 8 heures et un week-end sur deux. Une contre-équipe prend la relève durant la nuit.

Le service des urgences pédiatriques génère un nombre important d'entrées de sorte qu'une infirmière peut prendre en charge de 30 à 60 enfants par demi-journée, pour plus d'une centaine d'entrées par jour. Les enfants sont pris en charge de la naissance jusqu'à 15 ans et 3 mois et viennent pour des pathologies médico-chirurgicales ou des troubles pédopsychiatriques. Pour réduire les douleurs induites par les soins, l'équipe soignante administre le plus souvent une prémédication adaptée à la tolérance du médicament et à l'état de santé de l'enfant. Les soins sont souvent accompagnés d'une administration de

MEOPA et/ou d'une approche non médicamenteuse. Le choix de l'approche dépend de plusieurs paramètres dont l'expérience de l'équipe, l'adhésion et la tolérance de l'enfant mais aussi des indications et contre-indications à l'une ou l'autre des approches. La durée moyenne d'un soin est d'un quart d'heure à une demi-heure.

Les infirmières d'accueil et d'orientation du service travaillent soit à l'accueil, soit dans les boxes. A l'accueil, l'infirmière reçoit les familles, place l'enfant sur un brancard puis l'oriente et le transfère dans un box. Elle se charge de prendre les constantes vitales et de noter les informations recueillies dans le dossier informatique du patient. Ensuite, elle dispense les premiers traitements, notamment l'administration d'un antalgique.

Dans les boxes, l'infirmière commence sa journée par le réassort des dispositifs médicaux dans les tiroirs et les placards dédiés, mais aussi le contrôle des scopes, des poussettes-seringues et des arrivées d'oxygène. Puis elle se dirige vers les boxes. Les principales tâches sont la réalisation de prélèvements, une dizaine par demi-journée ; la pose de perfusions (hydratation...) et la préparation des poussettes-seringues (antibiotiques, antalgiques...), une dizaine par jour ; la préparation d'aérosols pour les crises d'asthme, une demi-douzaine par jour. Dans les boxes de chirurgie ou de traumatologie, l'infirmière intervient plus souvent dans des gestes de contention de l'enfant, et administre plus fréquemment du MEOPA au cours des soins prodigués par le médecin (réduction de fractures simples, réduction de certaines luxations périphériques, petites chirurgies superficielles...), jusqu'à une dizaine par demi-journée.

Quant à l'infirmière circulante, elle va optimiser la gestion des flux de patients, elle est mobilisable sur les différents postes (accueil, médecine et chirurgie) en fonction de la charge en soins, et cela tout au long de son service.



Figure 35 : Service des urgences pédiatriques.

Légende, de gauche à droite et de haut en bas :

- 1) Grille de ventilation et un raccord sur lequel vient se fixer un tuyau d'évacuation des gaz, l'ensemble est raccordé à une colonne d'extraction générale couplée à une VMC (box de médecine).
- 2) Prise SEGA sur lequel est fixé un raccord permettant la fixation d'un tuyau d'évacuation des gaz (salles 1 et 2).
- 3) Kit d'administration à usage unique raccordé à une bouteille de MEOPA.
- 4) Grille de ventilation et un orifice sur lequel peut se fixer un tuyau d'évacuation des gaz, l'ensemble est raccordé à une colonne d'extraction générale couplée à une VMC (box de chirurgie).
- 5) Bouton d'activation de la VMC dans la salle de soins du service.

3.3.2.2. Service des brûlés adultes

Le service d'hospitalisation des brûlés adultes se situe au 1er étage, aile est, de l'Hôtel-Dieu. La capacité d'accueil du service est de 13 patients (13 lits) sur 10 chambres d'une quinzaine à une vingtaine de mètres carrés (volume moyen de 40 à 50 m³) et dont les fenêtres ne s'ouvrent pas. Chaque chambre est équipée d'une VMC couplée à une colonne d'extraction générale et activable par un bouton. Le matériel d'administration est stocké dans la salle de soins et sur des chariots métalliques mis à l'entrée de la salle de balnéothérapie. Les bouteilles sont rangées dans des placards réservés au stockage des gaz.

On y trouve également une salle de "balnéothérapie" d'une dizaine de mètres carrés (volume de 20 mètres cubes), où les patients peuvent prendre leur douche et où les soins de brûlures qui ne peuvent être faits en chambre ont lieu. Cette salle est équipée d'une VMC couplée à une colonne d'extraction générale et activable par un bouton, de trois bouches de soufflage, d'une porte et d'une fenêtre ouvrable à partir d'un espace annexe où sont stockés matériels et un poste radio avec lecteur de cédérom pour l'hypnose. Les soignants appliquent le tuyau d'évacuation sur la VMC à chaque administration et aèrent la pièce entre chacune d'elles par l'ouverture de la fenêtre.

Lors de notre intervention dans le service, nous avons observé la circulation d'air par les différents moyens d'entrée-sortie à l'aide d'un objet léger (bout de tissu). D'après les chiffres des services techniques, les VMC assurent une ventilation allant de 140 à 220 m³/h pour les 12 locaux équipés. Les débits théoriques et mesurés par les services techniques sont concordants pour la VMC de la salle de balnéothérapie : le débit de 140-150 m³/h renouvelle 7 fois le volume de la pièce par heure. Au regard de notre observation, sans mesure de débit aéraulique, nous ne pouvons que constater le fonctionnement de la VMC et un faible passage d'air par les bouches de soufflage.

L'équipe paramédicale est constituée de deux infirmières et deux aides-soignantes le matin, dont une infirmière et une aide-soignante dédiés aux soins en balnéothérapie ; et deux infirmières et une aide-soignante l'après-midi. Le binôme de balnéothérapie change régulièrement. Le roulement s'effectue de sorte que l'infirmière travaille en balnéothérapie sur des périodes continues de trois jours, une semaine sur huit, alors que l'aide-soignante s'y retrouve sur une semaine complète, une semaine sur quatre, sauf si échanges de journées. Depuis une réorganisation du service il y a 4 ans, les infirmières du service prennent en charge la moitié des soins en balnéothérapie, quand la moitié restante est prise en charge par l'équipe de suppléance. L'équipe travaille en 2 x 8 heures et un week-end sur deux. Une contre-équipe prend la suite durant la nuit.

Les patients hospitalisés viennent de l'ensemble du Grand Ouest (45%)(111) avec des brûlures dont les critères cliniques relèvent d'une prise en charge spécialisée. Pour réduire les douleurs induites par les soins, l'équipe soignante administre le plus souvent une prémédication adaptée à la tolérance du médicament et à l'état de santé du patient. L'administration se fait en début de matinée, souvent par l'équipe de nuit, et avant que les soins ne commencent. Ce sont des antalgiques de palier 2 (tramadol), de palier 3 (oxycodone à effet rapide), des anxiolytiques (hydroxyzine dichlorhydrate) ou des benzodiazépines (midazolam).

Les soins en balnéothérapie ou en chambre sont souvent accompagnés d'une administration de MEOPA et/ou d'une approche non médicamenteuse (hypnose, musique). Le choix de l'approche dépend de plusieurs paramètres dont l'expérience de l'équipe (formation à l'hypnose), l'adhésion et la tolérance du patient mais aussi des indications et contre-indications à l'une ou l'autre des approches. La durée moyenne d'un soin est d'une heure.



Figure 36 : Service des brûlés adultes.

Légende, de gauche à droite et de haut en bas :

- 1) Grille de ventilation raccordée à une colonne d'extraction générale couplée à une VMC (balnéothérapie).*
- 2) Salle de balnéothérapie.*
- 3) Aide-soignante du service équipée d'un dispositif de prélèvement actif.*
- 4) Tube de prélèvement au zéolithe fixé à une poignée de porte pour un prélèvement d'air ambiant.*
- 5) Espace de stockage des gaz médicaux fermé par une porte.*

3.3.2.3. Service de réanimation chirurgicale

Le service de réanimation chirurgicale se situe au premier étage du Plateau Technique Médico-Chirurgical (PTMC) de l'Hôtel-Dieu. Le service compte 31 chambres, dont 27 sont utilisées et équipées d'un lit de sorte que 14 sont dédiées à la réanimation chirurgicale, 6 à la réanimation brûlés adultes et 7 à l'Unité de Soins Continus (USC). Les chambres sont de dimension variable, avec une superficie variant d'une vingtaine à une trentaine de mètres carrés (volume moyen de 50 à 70 m³), et la plupart d'entre elles n'ont pas de fenêtre ou celle-ci ne peut pas être ouverte. Huit chambres (chambres 1 à 8) sont équipées d'une prise SEGA murale ou sur colonne. Le matériel d'administration est stocké dans les différentes chambres et salles.

L'équipe paramédicale en semaine est constituée de dix infirmières le matin et l'après-midi, renforcées par deux infirmières de jour ; et de huit aides-soignantes le matin et l'après-midi, renforcées par une aide-soignante d'accueil et une de logistique. Le week-end et les jours fériés, l'équipe est constituée de neuf infirmières le matin et huit l'après-midi, renforcées par une infirmière de jour ; et de huit aides-soignantes le matin et six l'après-midi. Une contre-équipe prend la relève durant la nuit, avec neuf infirmières et quatre aides-soignantes en semaine, et huit infirmières et quatre aides-soignantes le week-end et les jours fériés. Le service fait également intervenir un kinésithérapeute et un psychologue.

Le service de réanimation chirurgicale génère un nombre important d'entrées, les patients sont en situation de prise en charge post-opératoire (digestive, urologique, stomatologique – ORL, neuro-traumatologique, traumatologique, orthopédique ou gynécologique) ou atteints de brûlures et de plusieurs défaillances des grandes fonctions vitales. Les entrées en provenance directe des urgences concernent les patients traumatisés crâniens, médullaires ou polytraumatisés. Il peut également s'agir de transferts des différents services de chirurgie du CHU, d'un autre hôpital ou d'une clinique. Pour réduire les douleurs induites par les soins, l'équipe soignante administre le plus souvent une prémédication adaptée à la tolérance du médicament et à l'état de santé du patient. Les soins sont souvent accompagnés d'une administration de MEOPA et/ou d'une approche médicamenteuse. Le choix de l'approche dépend de plusieurs paramètres dont l'expérience de l'équipe, l'adhésion et la tolérance du patient mais aussi des indications et contre-indications à l'une ou l'autre des approches.

L'infirmière participe à la prise en charge globale des patients, assure l'organisation et le contrôle des soins de prévention, de maintien et relationnel afin de préserver ou de restaurer la continuité de la vie, le bien-être et l'autonomie du patient, en collaboration avec l'aide-soignante. L'activité polyvalente du service l'amène à maintenir, approfondir et transmettre aux étudiants ses connaissances théoriques et pratiques en lien avec de nombreuses pathologies cardiaques, respiratoires, rénales, digestives, neuro-traumatologiques, osseuses, infectieuses et la prise en charge de brûlures. Elle participe aussi à la recherche médicale et paramédicale, ainsi qu'à l'amélioration continue des pratiques professionnelles à travers les démarches qualité.



Figure 37 : Service de réanimation chirurgicale.

Légende, de gauche à droite et de haut en bas :

- 1) Une des 6 chambres dédiées à la réanimation brûlés adultes. On observe des fenêtres condamnées dans le fond de la pièce, ainsi qu'une bouche de soufflage au plafond (flèche rouge) et un bras plafonnier distributeur (flèche verte) à droite.
- 2) Grille de soufflage d'une des 31 chambres du service.
- 3) Prise SEGA d'un bras plafonnier distributeur (salles 1 à 8).

3.3.2.4. Autres services

Nous avons constaté que d'autres services utilisent une VMC couplée à une colonne d'extraction générale. C'est le cas du planning familial (Centre Simone Veil), du CSD et des consultations de dermatologie, médecine interne et vasculaire.

Au planning familial, les 3 salles d'intervention dédiées aux IVG (Interruptions Volontaires de Grossesse) sont équipées d'une VMC activée en permanence. Ce système a été installé il y a quelques années sur les recommandations de la médecine du travail, suite à l'expression chez les soignants de symptômes attribuables à une exposition au protoxyde d'azote. Les salles n'ont pas de fenêtre et le matériel d'administration et les bouteilles sont stockés dans 2 d'entre elles. Le mode opératoire du service pour la préparation de la salle d'intervention précise les règles d'utilisation du gaz.

Aux consultations de dermatologie, médecine interne et vasculaire, le gaz est administré dans 3 salles utilisées pour la réalisation d'actes médicaux comme les biopsies cutané-musculaires ou de glandes salivaires. Les salles ont des fenêtres donnant sur l'extérieur, sauf pour l'une d'entre elle, et 2 d'entre elles sont équipées d'une VMC activée en permanence. Le matériel d'administration et les bouteilles sont stockés dans chacune d'elles.

Au CSD, un système similaire équipe 2 des 3 salles servant aux soins dentaires chez les enfants et patients en situation de handicap. Pour autant, il n'est pas utilisé car peu adapté aux conditions d'exercice rencontrées par le personnel, responsable d'une aspiration trop forte rendant l'administration difficile voire impossible. Les salles sont équipées d'une fenêtre où placer le tuyau d'évacuation et le matériel d'administration et les bouteilles sont stockés dans des armoires fermées à clé pour 2 d'entre elles. Comme la troisième salle n'a pas de rangement sécurisé, l'obus consommé est stocké dans l'arsenal du service avec les autres bouteilles en dotation. Les soins sont réalisés par 2 soignants au minimum, un sénior souvent accompagné d'un étudiant. La durée moyenne d'un soin est d'une vingtaine de minutes. La consultation commence par le recueil du consentement des parents (ou du tuteur légal) et la remise d'un document écrit résumant les principales recommandations d'utilisation du MEOPA. Le rôle de chacun est défini avant les soins puis l'équipe va chercher à obtenir l'adhésion de l'enfant (ou du patient handicapé) en lui expliquant les gestes, étape par étape, pour le rassurer. La traçabilité est double, les actes et les consommations sont répertoriés dans un classeur et sur informatique (logiciel MacDent®).



Figure 38 : Autres services.

Légende, de gauche à droite et de haut en bas :

- 1) Une des 3 salles d'intervention du planning familial dédiées aux IVG.
- 2) Une des 3 salles d'administration du MEOPA au CSD. On observe un tuyau d'évacuation des gaz exhalés placé à la fenêtre.
- 3) Grille de ventilation raccordée à une colonne d'extraction générale couplée à une VMC au planning familial.
- 4) Grille de ventilation raccordée à une colonne d'extraction générale couplée à une VMC au CSD.
- 5) Dispositif de Bain utilisé au CSD.

3.3.3. Métrologie

3.3.3.1. Service des urgences pédiatriques

Les prélèvements aux urgences pédiatriques ont été réalisés par la CARSAT sur une journée, le 8 novembre 2017, en présence de la cadre de santé du service. Le jour de l'intervention, l'activité était représentative du service.

L'administration de MEOPA s'est faite à l'aide d'une bouteille de 5 litres remplie à 170 bars contenant l'équivalent de 1,5 m³ de gaz sous une pression de 1 bar à 15°C. Le débit de MEOPA pouvait varier de 0 à 15 litres par minute.

La procédure d'administration de MEOPA s'est déroulée habituellement avec l'utilisation d'un masque naso-buccal (la taille et la référence des masques Intersurgical utilisés au cours des soins n'ont pas été répertoriées) et d'un ballon réservoir (référence 2612000 Intersurgical), tous deux à usage unique.

Les salles 1 et 2 étaient équipées d'une prise SEGA, alors que les autres salles étaient raccordées à une colonne d'extraction générale. L'un ou l'autre de ces systèmes a été utilisé pour l'évacuation des gaz expirés par le patient.

La température moyenne dans le service des urgences pédiatriques était de 25°C avec une hygrométrie de 33%. Cinq administrations de MEOPA ont été évaluées pour deux soins de suture au visage, une prise de sang, une pose de plâtre et un soulagement de crise douloureuse.

	Soins sous MEOPA	Personnel adm. MEOPA	Personnel présent	Salle	Administration MEOPA	Volume N ₂ O	Remarques
1	Suture visage	Auxiliaire puéricultrice 1	Infirmière 1 et Interne 1	4 Col. ext.	10 min à 10 L/min	50 L	Enfant agité au début 4 min
2	Prise de sang	Auxiliaire puéricultrice 1	Infirmière 1	2 SEGA	5 min à 12 L/min 30 s à 15 L/min	34 L	Enfant agité au début 1 min
3	Plâtre	Auxiliaire puéricultrice 3	Infirmière 2, Infirmière débutante et Interne 2	Plâtre Col. ext.	3 min à 12 L/min 3 min à 10 L/min 10 min à 8 L/min	73 L	Enfant calme Portes de la salle ouvertes
4	Suture visage	Auxiliaire puéricultrice 3	-	4 Col. ext.	16 min à 10 L/min	80 L	Enfant agité pendant la durée du soin
5	Soulagement douleur	Auxiliaire puéricultrice 3	-	2 SEGA	7 min à 10 L/min	35 L	Enfant agité ponctuellement
Total					544 L	272 L	

Tableau 5 : Suivi du personnel des urgences pédiatriques.

Aide à la lecture :

- La 3^{ème} colonne indique le personnel administrant le MEOPA.
- La 5^{ème} colonne indique la salle concernée, munie d'une prise SEGA ou d'une colonne d'extraction générale (col. ext.).
- La 6^{ème} colonne indique le débit et la durée d'administration.
- La 7^{ème} colonne indique le volume de protoxyde d'azote administré. Pour la 1^{ère} ligne, 100 litres de MEOPA ont été administrés (10 minutes x 10 litres/minutes), ce qui équivaut à 50 litres de protoxyde d'azote, le MEOPA étant un mélange équimolaire d'oxygène et de protoxyde d'azote.

Trois types de prélèvements ont été réalisés :

- Prélèvements passifs au niveau des voies respiratoires, afin de mesurer l'exposition moyenne et se référer à la valeur de référence.
- Prélèvements actifs sur 15 minutes au niveau des voies respiratoires, afin de mesurer l'exposition à court terme dès le début de l'administration du MEOPA.
- Prélèvements actifs sur 15 minutes en ambiance dans le couloir.

Identification du prélèvement	Heure début	Durée en min	N2O (en mg/m ³)	N2O pondéré sur 8h (en mg/m ³)
Valeur de référence			45 mg/m ³ = 25 ppm	
Auxiliaire puéricultrice 1 § Matin : 2 soins sous MEOPA Suture en salle 4 Prise de sang en salle 2 Après-midi : pas de soin sous MEOPA	10:40 11:07 11:36 12:01	81 16 12 104	> 850* 1730 2022 1,5	> 143,8
Infirmière 1 Matin : 2 soins sous MEOPA Après-midi : pas de soin sous MEOPA	10:41 12:03	82 115	294 78,8	69,1
Auxiliaire puéricultrice 2 Matin : pas de soins sous MEOPA	10:42	190	0,7	0,3
Interne 1 Matin : 1 soin sous MEOPA Après-midi : pas de soin sous MEOPA	11:04 13:53	169 220	23,2 0,7	8,5
Auxiliaire puéricultrice 3 § Après-midi : 3 soins sous MEOPA Plâtre en salle plâtre (1er tube) Plâtre en salle plâtre (2ème tube) Suture en salle 4 (1er tube) Suture en salle 4 (2ème tube) Soins en salle 2	14:01 14:32 14:47 17:05 17:22 17:35	229 15 15 16 13 14	1576 2998 221 12380 500 1702	751,9
Infirmière 2 Après-midi : 1 soin sous MEOPA	14:02	226	23,6	11,1
Infirmière débutante Après-midi : 1 soin sous MEOPA	14:02	223	20,5	9,5
Interne 2 Après-midi : 1 soin sous MEOPA	14:34	204	17,5	7,4
Ambiance couloir, face salles 3 et 4 Matin Après-midi	10:57 17:32	15 15	< 1,1 5,2	0,2

Tableau 6 : Suivi détaillé du personnel des urgences pédiatriques.

Aide à la lecture :

- Le symbole § indique le personnel ayant administré du MEOPA.
 - L'astérisque (*) indique les tubes de prélèvements saturés.
 - Les valeurs limites des gaz et vapeurs peuvent être en général exprimées en poids (mg/m³) ou en volume (ppm). La correspondance entre les valeurs exprimées dans les deux unités de mesure est donnée par les formules suivantes :
 - $[ppm] \times \text{masse molaire} / V = [mg/m^3]$
 - $[mg/m^3] \times V / \text{masse molaire} = [ppm]$
- Avec $V = 24,45$ à 25°C et sous pression normale ou $24,05$ à 20°C et sous pression normale.
 Pour le protoxyde d'azote, 45 mg/m^3 équivaut à $25 \text{ ppm}(131)$.
- Les valeurs en gras indiquent les taux pondérés sur 8 heures dépassant la valeur de référence de 45 mg/m^3 .

Les résultats des prélèvements montrent que le personnel administrant le MEOPA, l'Auxiliaire puéricultrice 1 et 3, est excessivement exposé au protoxyde d'azote. Les concentrations en N_2O sont nettement supérieures à la valeur de référence (45 mg/m^3), avec des taux pondérés sur 8 heures supérieurs à $143,8 \text{ mg/m}^3$ (soit 80 ppm) pour l'Auxiliaire puéricultrice 1, et à $751,9 \text{ mg/m}^3$ (soit 418 ppm) pour l'Auxiliaire puéricultrice 3. Leurs expositions à court terme (sur 15 minutes) sur les phases d'administration de MEOPA sont aussi importantes, allant jusqu'à 12000 mg/m^3 .

Pour le personnel ayant assisté à des soins sous MEOPA, l'Infirmière 1, 2, débutante et l'Interne 1 et 2, leurs expositions sont moindres mais néanmoins significatives pour la plupart du personnel, à environ 20 mg/m^3 , voire importante pour l'Infirmière 1 à 294 mg/m^3 .

On ne retrouve pas de différence significative entre les prélèvements effectués dans les salles équipées d'une prise SEGA et celles raccordées à une colonne d'extraction générale.

Le personnel n'ayant pas participé à un soin sous MEOPA, est peu exposé, avec des concentrations inférieures à $1,5 \text{ mg/m}^3$. Excepté pour l'Infirmière 1, avec une concentration à 79 mg/m^3 l'après-midi, qui a probablement dû intervenir, ne serait-ce que rapidement, dans une salle où a eu lieu une administration de MEOPA.

Les mesures d'ambiance faites dans le couloir révèlent de faibles niveaux de pollution en N_2O , même si une différence est retrouvée entre le matin et l'après-midi, plus chargé en soins sous MEOPA.

Salle	Dimensions (en m) et volume (en m ³)	Zone de mesure	Débits de soufflage (en m ³ /h et en L/min)	Taux de brassage (en salle/h)	Zone de mesure	Débits d'extraction (en m ³ /h et en L/min)	Taux d'extraction (en salle/h)
1	3 x 3,4 x 2,45 m 25 m ³	Bouche	98 1633,33	3,9	2 grilles* (0,57 x 0,27 m)	?	1,6
					Grille (0,08 x 0,18 m)	41 683,33	
					SEGA sans masque	0,33 5,45	≈ 0
					SEGA avec masque	0,01 0,20	≈ 0
2	3 x 3,4 x 2,45 m 25 m ³	Bouche	73 1216,67	2,9	2 grilles* (0,57 x 0,27 m)	?	2,5
					Grille (0,08 x 0,18 m)	62 1033,33	
					SEGA sans masque	0,09 1,45	≈ 0
					SEGA avec masque	≈ 0 0,06	≈ 0
4	3 x 4,3 x 2,45 m 32 m ³	Fentes* (2 x 0,57 x 0,02 m)	123 2050	3,8	Fentes* (2 x 0,57 x 0,02 m)	82 1366,67	10,7
					Grille (0,22 x 0,22 m)	260 4333,33	
					Col. Ext. sans masque	0,34 5,70	≈ 0
					Col. Ext. avec masque	≈ 0 0,03	≈ 0
5	2,7 x 3,35 x 2,45 m 22 m ³	Bouche	77 1283,33	3,5	Bouche	27 450	3,4
					Grille (0,12 x 0,12 m)	47 783,33	
					Col. Ext. sans masque	0,52 8,70	≈ 0
					Col. Ext. avec masque	≈ 0 0,05	≈ 0
10	2,8 x 5,3 x 2,45 m 36 m ³ Fenêtres sur l'extérieur	Fentes* (2 x 0,57 x 0,02 m)	205 3416,67	5,7	Fentes* (2 x 0,57 x 0,02 m)	58 966,67	4,1
					Grille (0,5 x 0,1 m)	90 1500	
					Col. Ext. sans masque	0,32 5,40	≈ 0
					Col. Ext. avec masque	≈ 0 0,04	≈ 0

Tableau 7 : Caractéristiques aérauliques de la ventilation des urgences pédiatriques.

Aide à la lecture :

- L'astérisque (*) indique des mesures incertaines pour les relevés des débits au niveau des fentes (soufflage ou extraction) et de certaines grilles d'extraction en plafond (salles 1 et 2) : les relevés ne sont donc qu'une indication partielle des débits mis en œuvre.
- Le point d'interrogation (?) indique que le débit apparent était très faible.
- Les valeurs en gras indiquent l'unité la plus adaptée pour la lecture des débits de soufflage et d'extraction, par exemple en L/min pour la prise SEGA et la colonne d'extraction générale.
- Les mesures ont été faites avec les portes et fenêtres fermées.

Concernant l'analyse aéraulique des systèmes de la ventilation générale, les niveaux de débits de soufflage et d'extraction sont équilibrés pour les salles 2 et 5, alors que les salles 1 et 10 se retrouvent en surpression (débits de soufflage supérieurs aux débits d'extraction) et la salle 4 en dépression (débits de soufflage inférieurs aux débits d'extraction). Les taux de brassage de l'air sont sensiblement proches, de l'ordre de 3 à 4 volumes par heure.

Les extractions par SEGA et par raccordement aux conduits de la ventilation générale conduisent à des performances proches, mais on peut toutefois noter que les performances de la salle 2 sont relativement

faibles (inférieures à 2 L/min) et ne permettront probablement pas de reprendre le débit expiratoire d'un patient.

3.3.3.2. Service des brûlés adultes

Les prélèvements chez les brûlés adultes ont été réalisés par la CARSAT sur une journée, le 7 juin 2018, en présence du cadre de santé du service. Le jour de l'intervention, l'activité était représentative du service.

L'administration de MEOPA s'est faite à l'aide d'une bouteille de 15 litres remplie à 170 bars contenant l'équivalent de 4,4 m³ de gaz sous une pression de 1 bar à 15°C. Le débit de MEOPA était à 8 litres par minute mais pouvait varier de 0 à 15 litres par minute.

La procédure d'administration de MEOPA s'est déroulée avec l'utilisation d'un masque naso-buccal (référence 1515000 Intersurgical) et d'un ballon réservoir (référence 2612000 Intersurgical), tous deux à usage unique.

La salle de balnéothérapie était équipée d'une VMC couplée à une colonne d'extraction générale et activable par un bouton. Ce système a été utilisé pour l'évacuation des gaz expirés par le patient. La pièce était ventilée entre chaque administration par l'ouverture de la porte et de la fenêtre.

La température moyenne dans la salle de balnéothérapie était de 28°C avec une hygrométrie de 70%. Des conditions similaires d'administration nous ont été rapportées en réanimation pédiatrique brûlés. Deux administrations de MEOPA ont été évaluées pour deux soins de brûlures en salle de balnéothérapie.

	Soins sous MEOPA	Personnel adm. MEOPA	Personnel présent	Salle	Administration MEOPA	Volume N2O	Remarques
1	Changement de pansements	Aide-soignante	Infirmière	Balnéothérapie	31 min à 8 L/min	124 L	Patient calme
2	Changement de pansements	Aide-soignante	Infirmière	Balnéothérapie	9 min à 8 L/min	36 L	Patient calme
Total					320 L	160 L	

Tableau 8 : Suivi du personnel en balnéothérapie des brûlés adultes.

Aide à la lecture :

- La 3ème colonne indique le personnel administrant le MEOPA.
- La 5ème colonne indique la salle concernée, en l'occurrence celle de balnéothérapie.
- La 6ème colonne indique le débit et la durée d'administration.
- La 7ème colonne indique le volume de protoxyde d'azote administré. Pour la 1ère ligne, 248 litres de MEOPA ont été administrés (31 minutes x 8 litres/minutes), ce qui équivaut à 124 litres de protoxyde d'azote, le MEOPA étant un mélange équimolaire d'oxygène et de protoxyde d'azote.

Trois types de prélèvements ont été réalisés :

- Prélèvements passifs au niveau des voies respiratoires, afin de mesurer l'exposition moyenne et se référer à la valeur de référence.
- Prélèvements actifs sur 15 minutes au niveau des voies respiratoires, afin de mesurer l'exposition à court terme dès le début de l'administration du MEOPA.
- Prélèvements passifs en ambiance dans la salle et le couloir.

Identification du prélèvement	Heure début	Durée en min	N2O (en mg/m ³)	N2O pondéré sur 8h (en mg/m ³)
Valeur de référence			45 mg/m ³ = 25 ppm	
Aide-soignante				
2 soins sous MEOPA				
Prélèvement passif 1	09:49	62	> 2200*	> 484,2
Prélèvement actif 1 (1er tube)	09:49	16	> 4200*	
Prélèvement actif 1 (2ème tube)	10:05	15	> 6400*	
Prélèvement actif 1 (3ème tube)	10:20	15	3473	
Prélèvement passif 2	12:00	60	> 1600*	
Prélèvement actif 2 (1er tube - sans administration de MEOPA)	12:00	19	11,4	
Prélèvement actif 2 (2ème tube - avec administration de MEOPA)	12:19	17	66,2	
Infirmière				
2 soins sous MEOPA				
Prélèvement passif 1	09:50	61	> 2000*	> 384,2
Prélèvement actif 1 (1er tube)	09:50	17	3131	
Prélèvement actif 1 (2ème tube)	10:07	15	1,5	
Prélèvement actif 1 (3ème tube)	10:22	15	2319	
Prélèvement passif 2	11:59	61	1023	
Prélèvement actif 2 (1er tube - sans administration de MEOPA)	11:59	20	38,3	
Prélèvement actif 2 (2ème tube - avec administration de MEOPA)	12:19	16	> 6300*	
Ambiance salle balnéothérapie				
1er soin	09:53	62	> 950*	> 178,8
2ème soin	12:14	46	585	
Ambiance dans le couloir				
	10:15	165	12,4	4,3

Tableau 9 : Suivi détaillé du personnel en balnéothérapie des brûlés adultes.

Aide à la lecture :

- L'astérisque (*) indique les tubes de prélèvements saturés.
 - Les valeurs limites des gaz et vapeurs peuvent être en général exprimées en poids (mg/m³) ou en volume (ppm). La correspondance entre les valeurs exprimées dans les deux unités de mesure est donnée par les formules suivantes :
 - [ppm] x masse molaire / V = [mg/m³]
 - [mg/m³] x V / masse molaire = [ppm]
- Avec V = 24,45 à 25°C et sous pression normale ou 24,05 à 20°C et sous pression normale.
 Pour le protoxyde d'azote, 45 mg/m³ équivaut à 25 ppm(131).
- Les valeurs en gras indiquent les taux pondérés sur 8 heures dépassant la valeur de référence de 45 mg/m³.

Les résultats des prélèvements montrent que le personnel soignant est excessivement exposé au protoxyde d'azote lors des soins sous MEOPA. Les niveaux d'exposition sont plus élevés lors du 1er soin par rapport au 2ème, ce qui semble logique car le volume administré était 3 fois plus important lors de ce dernier. On constate également que l'aide-soignante qui a administré le MEOPA est plus exposée que l'infirmière qui effectuait les soins.

Les concentrations en N₂O sont nettement supérieures à la valeur de référence (45 mg/m³), avec des taux pondérés sur 8 heures supérieurs à 484,2 mg/m³ (soit 269 ppm) pour l'Aide-soignante, et supérieurs à 384,2 mg/m³ (soit 213 ppm) pour l'Infirmière. Leurs expositions à court terme (sur 15 minutes) sur les phases d'administration de MEOPA sont aussi importantes, supérieure à 6400 mg/m³.

Au début du 2ème soin, les résultats de prélèvements actifs (premiers tubes) sont logiquement plus faibles, étant donné que le personnel soignant n'a pas administré de MEOPA sur cette période. Il est à noter que 2 prélèvements actifs ne sont pas cohérents, puisque les résultats sont nettement inférieurs aux prélèvements passifs : le 2ème tube du 1er soin pour l'Infirmière et le 2ème tube du 2ème soin pour l'Aide-soignante. Ces incohérences pourraient être dues à un problème survenu lors du prélèvement ou de l'analyse.

Dans la salle de balnéothérapie, les mesures d’ambiance réalisées confirment les résultats des prélèvements individuels obtenus lors des 2 soins. Dans le couloir, la mesure réalisée révèle un niveau de pollution inférieur à la valeur limite préconisée.

Ces niveaux très élevés de protoxyde d’azote peuvent être dus à la fois aux rejets de gaz exhalés par le patient malgré le masque, les fuites sur les masques simples ayant déjà été constatées lors de précédentes campagnes de mesurage par la CARSAT, mais aussi au raccordement réalisé sur la bouche d’extraction, à la durée d’administration et aux conditions aérauliques et thermiques (28°C) de la pièce.

3.3.3.3. Service de réanimation chirurgicale

Les prélèvements en réanimation chirurgicale ont été réalisés par la CARSAT sur une journée, le 7 septembre 2018, en présence du cadre de santé du service. Le jour de l’intervention, l’activité était représentative du service.

L’administration de MEOPA s’est faite à l’aide d’une bouteille de 15 litres remplie à 170 bars contenant l’équivalent de 4,4 m³ de gaz sous une pression de 1 bar à 15°C. Le débit de MEOPA était à 7 litres par minute.

La procédure d’administration de MEOPA s’est déroulée par trachéotomie et l’utilisation d’un ballon réservoir à usage unique : le personnel soignant n’avait pas de masque à tenir.

La chambre 4 était équipée d’une prise SEGA et d’une VMC couplée à une colonne d’extraction générale et activable par un bouton. Ces systèmes ont été utilisés pour l’évacuation des gaz expirés par le patient. Les soins sous MEOPA sont réalisés uniquement dans les chambres équipées de prises SEGA, soit 8 chambres sur les 31 du service.

La température moyenne dans la chambre était de 24°C avec une hygrométrie de 43%. Une administration de MEOPA a été évaluée lors d’un changement de pansements sur un patient.

	Soins sous MEOPA	Personnel adm. MEOPA	Personnel présent	Salle	Administration MEOPA	Volume N2O	Remarques
1	Changement de pansements	Aide-soignante	Infirmière	Chambre 4	105 min à 7 L/min	367,5 L	Aucune
Total					735 L	367,5 L	

Tableau 10 : Suivi du personnel en réanimation chirurgicale.

Aide à la lecture :

- La 3ème colonne indique le personnel administrant le MEOPA.
- La 5ème colonne indique la salle concernée, en l’occurrence la chambre 4.
- La 6ème colonne indique le débit et la durée d’administration.
- La 7ème colonne indique le volume de protoxyde d’azote administré. Pour la 1ère ligne, 105 litres de MEOPA ont été administrés (105 minutes x 7 litres/minutes), ce qui équivaut à 367,5 litres de protoxyde d’azote, le MEOPA étant un mélange équimolaire d’oxygène et de protoxyde d’azote.

Trois types de prélèvements ont été réalisés :

- Prélèvements passifs au niveau des voies respiratoires, afin de mesurer l'exposition moyenne et se référer à la valeur de référence.
- Prélèvements actifs sur 15 minutes au niveau des voies respiratoires, afin de mesurer l'exposition à court terme dès le début de l'administration du MEOPA.
- Prélèvements passifs en ambiance dans la salle et le couloir.

Identification du prélèvement	Heure début	Durée en min	N2O (en mg/m ³)	N2O pondéré sur 8h (en mg/m ³)
Valeur de référence			45 mg/m ³ = 25 ppm	
Infirmière				
1 soin sous MEOPA				
Prélèvement passif	08:27	109	771	175,1
Prélèvement actif (1er tube)	08:26	15	435	
Prélèvement actif (2ème tube)	08:41	17	555	
Prélèvement actif (3ème tube)	08:58	16	448	
Aide-soignante				
1 soin sous MEOPA				
Prélèvement passif	08:29	107	624	139,1
Prélèvement actif (1er tube)	09:46	15	404	
Prélèvement actif (2ème tube)	10:01	15	444	
Prélèvement actif (3ème tube, arrêt du MEOPA à 10:15)	10:16	15	132	
Intervenant prélèvements	08:33	104	163	35,3
Ambiance chambre 4	08:30	108	266	59,9
Ambiance dans le couloir	08:31	108	1	0,2

Tableau 11 : Suivi détaillé du personnel en réanimation chirurgicale.

Aide à la lecture :

- Les valeurs limites des gaz et vapeurs peuvent être en général exprimées en poids (mg/m³) ou en volume (ppm). La correspondance entre les valeurs exprimées dans les deux unités de mesure est donnée par les formules suivantes :
 - $[ppm] \times \text{masse molaire} / V = [mg/m^3]$
 - $[mg/m^3] \times V / \text{masse molaire} = [ppm]$
- Avec $V = 24,45$ à 25°C et sous pression normale ou $24,05$ à 20°C et sous pression normale.
 Pour le protoxyde d'azote, 45 mg/m^3 équivaut à 25 ppm (131).
- Les valeurs en gras indiquent les taux pondérés sur 8 heures dépassant la valeur de référence de 45 mg/m^3 .

Les résultats des prélèvements montrent que le personnel soignant a été exposé au protoxyde d'azote lors du soin sous MEOPA. Les niveaux d'exposition sont élevés, nettement au-dessus de la valeur limite de référence (45 mg/m^3).

Les concentrations en N_2O sont nettement supérieures à la valeur de référence (45 mg/m^3), avec des taux pondérés sur 8 heures à $175,1 \text{ mg/m}^3$ (soit 97 ppm) pour l'Infirmière, et à $139,1 \text{ mg/m}^3$ (soit 77 ppm) pour l'Aide-soignante. Leurs expositions à court terme (sur 15 minutes) sur les phases d'administration de MEOPA sont aussi importantes. Les prélèvements actifs effectués au cours du soin, d'abord pour l'Infirmière et ensuite pour l'Aide-soignante, donnent des résultats plus bas entre 400 et 600 mg/m^3 . N'ayant pas de masque à tenir, les deux soignantes s'occupaient exclusivement des soins et gestes techniques, ce qui peut certainement expliquer les résultats assez proches de leurs prélèvements.

Le dernier tube réalisé après l'arrêt de l'administration de MEOPA à 10h15 démontre qu'il y a du protoxyde d'azote résiduel dans la chambre, ce qui laisse à supposer que le renouvellement d'air n'est pas suffisant. Le prélèvement d'ambiance réalisé dans la chambre indique un niveau de pollution en N_2O

également excessif sur la durée du soin, près de 6 fois la valeur de référence. Dans le couloir, le niveau de pollution est faible, très inférieur à la valeur limite préconisée.

Ces résultats, bien qu'élevés, sont néanmoins moins importants comparés aux niveaux en N₂O mesurés lors des précédentes campagnes de prélèvements. D'autant que le volume de N₂O administré lors de ce soin était particulièrement important.

Salle	Dimensions (en m) et volume (en m ³)	Zone de mesure	Débits de soufflage (en m ³ /h et en L/min)	Taux de brassage (en salle/h)	Zone de mesure	Débits d'extraction (en m ³ /h et en L/min)	Taux d'extraction (en salle/h)
1	5,3 x 4,4 x 2,6 m 61 m ³	Grille*	> 200 > 3333,33	3,3	Grille*	> 200 > 3333,33	3,3
					SEGA sans masque	0,56 9,40	≈ 0
					SEGA avec masque	0,55 9,10	≈ 0
2	5,3 x 4,4 x 2,6 m 61 m ³	Grille*	> 230 > 3833,33	3,8	Grille*	> 200 > 3333,33	3,3
					SEGA sans masque	0,70 11,60	≈ 0
					SEGA avec masque	0,67 11,20	≈ 0
4	5,6 x 4,15 x 2,6 m 60 m ³ Fenêtres sur l'extérieur	Grille*	> 200 > 3333,33	3,3	Grille*	> 200 > 3333,33	3,3
					SEGA sans masque	0,58 9,60	≈ 0
					SEGA avec masque	0,49 8,20	≈ 0

Tableau 12 : Caractéristiques aérauliques de la ventilation en réanimation chirurgicale.

Aide à la lecture :

- L'astérisque (*) indique des mesures incertaines pour les relevés des débits au niveau des grilles (soufflage ou extraction) : les relevés ne sont donc qu'une indication partielle des débits mis en œuvre.
- Les valeurs en gras indiquent l'unité la plus adaptée pour la lecture des débits d'extraction, par exemple en L/min pour la prise SEGA et la colonne d'extraction générale.
- Les mesures ont été faites avec les portes et fenêtres fermées.

Concernant l'analyse aéraulique des systèmes de la ventilation générale, les niveaux de débits de soufflage et d'extraction sont équilibrés et les taux de brassage de l'air sont sensiblement proches, de l'ordre de 3 à 4 volumes par heure.

Les extractions par SEGA conduisent à des performances proches mais on peut toutefois noter que le réseau assure une dépression suffisamment élevée pour conserver les débits malgré la présence des valves des masques. Les débits sont de l'ordre de 8 à 12 L/min, largement supérieurs à ceux des urgences pédiatriques, probablement du fait de la typologie des patients, c'est-à-dire des adultes, et de leurs débits expiratoires plus élevés.

3.3.3.4. Interprétation des résultats

Nos résultats révèlent des niveaux d'exposition excessifs, dépassant largement les recommandations françaises et les VLEP et VLCT allemandes que l'on peut utiliser à titre de comparaison. Aux urgences pédiatriques, les taux pondérés sur 8 heures vont jusqu'à 16,7 fois la recommandation française ou 4,2 fois la VLEP allemande ; et les taux pondérés sur 15 minutes, jusqu'à 55 fois la recommandation française ou 43 fois la VLCT allemande. Parmi les 8 soignants suivis, 3 ont dépassé les 25 ppm. Chez les brûlés, les taux pondérés sur 8 heures vont jusqu'à 10,8 fois la recommandation française ou 2,69 fois la VLEP allemande ; et les taux pondérés sur 15 minutes, jusqu'à 28,4 fois la recommandation française ou 22,2 fois la VLCT allemande. Les 2 soignants suivis ont dépassé les 25 ppm. En réanimation chirurgicale, les taux pondérés sur 8 heures vont jusqu'à 3,9 fois la recommandation française mais se retrouvent en-deçà de la VLEP allemande ; et les taux pondérés sur 15 minutes, jusqu'à 3,4 fois la recommandation française ou 2,7 fois la VLCT allemande. Les 2 soignants suivis ont dépassé les 25 ppm. Autre élément intéressant, la personne chargée d'administrer le MEOPA est à chaque fois plus exposée que les autres. Ces résultats sont à mettre en parallèle avec les dernières études faites aux CHU de Lyon et de Toulouse, qui montrent des situations comparables de surexposition(3,69,132–134).

Dans sa mise au point sur le protoxyde d'azote publiée en décembre 2016, l'INRS rappelle que les niveaux mesurés en milieu hospitalier en France (intégrés dans la base de données COLCHIC), durant les campagnes de la CARSAT et de l'INRS de 2002 à 2016, retrouvaient des valeurs supérieures à la valeur recommandée de 25 ppm dans 53,5% des cas. Elle précise aussi que les concentrations les plus élevées (supérieures à 2200 ppm) ont été mesurées sur les infirmiers travaillant aux urgences pédiatriques, en consultation de jour et en pédiatrie/maternité(8).

Lorsqu'un prélèvement est représentatif d'une exposition individuelle sur une journée de travail, ou sur une courte durée, on interprétera la valeur du rapport R/VR (Résultat/Valeur de Référence) ou Indice global de pollution (Ig) comme préconisé par l'INRS à l'aide de la figure ci-dessous. Lorsque ce rapport est supérieur à 1, ce qui se produit lorsque le résultat dépasse la valeur de référence, comme dans notre étude, des mesures correctives sont à réaliser.

Cependant, si pour le protoxyde d'azote il ne s'agit que d'une recommandation et non d'une obligation d'application, la valeur émanant d'une circulaire et non d'un décret, il semble justifié de prendre des mesures de précaution pour limiter au plus bas possible l'exposition. Il est donc conseillé de réévaluer l'indication du MEOPA à chaque patient, et d'utiliser une alternative thérapeutique lorsque cela est possible, par exemple par l'utilisation d'un anesthésique local lors d'une prise de sang. La limitation des fuites et de la diffusion du gaz doit être assurée par l'utilisation d'un masque adapté, parfaitement étanche sur le visage, par l'aspiration des gaz résiduels et exhalés au plus proche de leur émission, et leur évacuation vers l'extérieur. La ventilation du local et l'organisation des soins doivent être optimisées. Toutefois, l'INRS précise que la prévention de l'exposition au MEOPA repose uniquement sur la mise en œuvre de mesures collectives, puisque le port d'un appareil de protection respiratoire par le personnel soignant n'est pas envisageable dans l'exercice des soins.

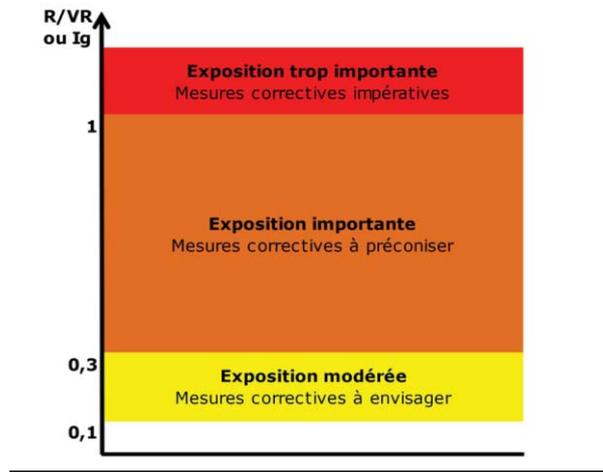


Figure 39 : Indice global de pollution (I_g).

3.3.4. Questionnaire

3.3.4.1. Description sociodémographique de la population

Au total, nous avons obtenu 367 réponses à la fin de la période de recueil. Parmi celles-ci, 365 personnes ont donné leur consentement pour répondre au questionnaire et 2 personnes ont refusé car elles n'étaient pas concernées. Parmi ceux ayant donné leur consentement, 343 ont déclaré être exposés contre 22 non exposés. Seules les données des personnes exposées ont été recueillies et exploitées. Pour le personnel paramédical, principalement concerné par l'étude, les taux de réponse estimés sont de 13,6% pour l'ensemble des services de pédiatrie (65,8% aux urgences pédiatriques, 22% en oncologie pédiatrique, 8,5% en pédiatrie), 12,9% aux urgences adultes, 35,7% chez les brûlés adultes et 5,7% pour les autres services.

La population de répondants est composée de 50,7% d'infirmières, 26% de médecins (11,4% d'internes et 14,6% de médecins thésés dont 2 chirurgiens-dentistes), 10,5% d'auxiliaires de puériculture, 5,5% d'aides-soignantes, 4,1% d'infirmières spécialisées (infirmières anesthésistes IADE et infirmières puéricultrices, étiquetées "autre IDE") et 3,2% d'autres fonctions (kinésithérapeute, manipulateur en électroradiologie, sage-femme). La population est principalement féminine avec 86% de femmes. Les deux tiers de la population ont moins de 40 ans (70,6%) donc potentiellement concernés par les questions de fertilité. Nous n'avons pas calculé l'âge moyen car il s'agit ici de classes d'âge (variable qualitative).

La plupart d'entre eux travaillent à temps plein (67,9%) et avec des horaires de jour (48,1%). L'ancienneté moyenne dans le service est de 6 ans et plus de la moitié de la population a une ancienneté de moins de 5 ans (51%). La majorité de nos répondants travaillent dans un seul service (91,3%).

En ce qui concerne les services, 32,9% de nos répondants travaillent en pédiatrie, soit un total de 113 personnes, point positif puisque les principaux services consommateurs figurent dans ce secteur. Ces soignants travaillent dans 78 unités différentes.

	N (343)	%
Âge		
20 à 30 ans	111	32,4%
30 à 40 ans	131	38,2%
40 à 50 ans	73	21,3%
50 à 60 ans	22	6,4%
Plus de 60 ans	6	1,7%
Sexe		
Femme	295	86,0%
Homme	48	14,0%
Fonction		
Aide-soignant(e)	19	5,5%
Autre	11	3,2%
Autre IDE	14	4,1%
Auxiliaire de puériculture	36	10,5%
Infirmier(ère) (IDE)	174	50,7%
Interne	39	11,4%
Médecin thésé	50	14,6%
Quotité de temps de travail		
100%	233	67,9%
50%	12	3,5%
70%	4	1,2%
80%	69	20,1%
90%	25	7,3%
Horaires		
Travail de nuit	25	7,3%
Travail en journée	165	48,1%
2 x 12 heures	24	7,0%
2 x 8 heures	97	28,3%
3 x 8 heures	32	9,3%

	N (343)	%
Ancienneté dans le service		
Moins d'un an	42	12,2%
1 à 4 ans	133	38,8%
5 à 10 ans	105	30,6%
11 à 15 ans	45	13,1%
Plus de 15 ans	18	5,2%
Ancienneté dans la profession		
Moins de 5 ans	94	27,4%
5 à 10 ans	93	27,1%
11 à 15 ans	66	19,2%
Plus de 15 ans	90	26,2%
Suppléance		
Non	313	91,3%
Oui	30	8,7%
Services		
Anesthésie et blocs	19	5,5%
Autres unités	171	49,9%
Brûlés Adultes 1er Est	10	2,9%
Oncologie Pédiatrique	20	5,8%
Pédiatrie	58	16,9%
Pédiatrie Urgences / UHCD	35	10,2%
Urgences Adultes	30	8,7%

Tableau 13 : Caractéristiques socio-démographiques de la population.

Aide à la lecture : les effectifs d'une colonne sont indiqués entre parenthèses (N) et les pourcentages affichés sont calculés par colonnes.

En ce qui concerne les services regroupés dans la catégorie "autres unités", dont la consommation de MEOPA reste limitée, des résultats sur le nombre de répondants, la fréquence des expositions en nombre moyen d'actes par semaine et la déclaration d'au moins un symptôme rythmé par les expositions au MEOPA sont disponibles en annexe 8.

Pour donner plus de puissance aux analyses statistiques à suivre, nous avons effectué des regroupements parmi les sous-catégories de plusieurs variables :

- Pour l'âge, les 50-60 ans et les plus de 60 ans ont été associés.
- Pour la fonction, nous avons regroupé les soignants en 3 groupes : les aides-soignantes et auxiliaires de puériculture, les internes et médecins thésés, et les autres.
- Pour les services, nous avons regroupé les soignants en 2 groupes : les services consommant plus de 200 bouteilles par an et les autres (anesthésie et blocs et autres unités).

3.3.4.2. Formation continue à l'utilisation de MEOPA

Parmi les répondants, 124 personnes déclarent avoir reçu une formation continue à l'utilisation de MEOPA, soit 36,2% de la population. Ce pourcentage est plus important qu'à l'EPP de 2013 où 26% des répondants ont indiqué une formation continue, datant de moins de 3 ans pour 57% d'entre eux. Par contre, si notre étude n'a pas évalué la formation initiale, 52% (n = 117/227) des répondants à l'EPP ont indiqué une formation initiale ou continue, datant de moins de 5 ans pour 52% (n = 61/117) d'entre eux. Autre précision apportée par l'EPP, 47% ont répondu qu'il existait un document interne relatif au MEOPA dans leur service(118).

On remarque que le nombre de personnes ayant reçu une formation augmente avec l'âge, passant de 16,2% pour les 20-30 ans à la moitié des effectifs pour les plus de 40 ans.

Le plus surprenant parmi ces résultats, c'est la faible proportion d'aides-soignantes et d'auxiliaires de puériculture formées, respectivement à 10,5% et 19,4%, alors qu'elles sont les premières exposées en administrant le gaz. Par contre, une infirmière sur deux déclare avoir fait une formation, et le taux monte à 57,1% chez les infirmières spécialisées. Seulement 23,6% des médecins déclarent avoir participé à une formation, et le MEOPA n'est pas systématiquement abordé dans les programmes associés à la formation médicale initiale (à l'exception de certaines spécialités médicales comme l'anesthésie) car il n'est pas considéré comme un antalgique, un anesthésique ou un anxiolytique(118).

Concernant les services, il est étonnant d'observer que le taux de formation de certains services les plus consommateurs (urgences pédiatriques ou adultes, services de pédiatrie, brûlés adultes) oscille entre 20 et 40%, alors qu'ils sont les premiers concernés. Mais avec une petite exception pour l'oncologie pédiatrique, 2ème service consommateur, avec un taux de formation de 60%.

L'analyse statistique univariée montre une association significative (*) de la formation avec l'âge et la fonction mais pas avec les services ($p > 0,05$).

N (343)	Oui		Khi2
	N (124)	36,2%	p value
Âge			
20 à 30 ans	18	16,2%	≈ 0*
30 à 40 ans	53	40,5%	
40 à 50 ans	34	46,6%	
50 à 60 ans	16	72,7%	
Plus de 60 ans	3	50,0%	
Fonction			
Aide-soignant(e)	2	10,5%	≈ 0*
Autre	4	36,4%	
Autre IDE	8	57,1%	
Auxiliaire de puériculture	7	19,4%	
Infirmier(ère) (IDE)	82	47,1%	
Interne	5	12,8%	
Médecin thésé	16	32,0%	
Services			
Anesthésie et blocs	8	47,4%	0,601
Autres unités	62	36,3%	
Brûlés Adultes 1er Est	2	20,0%	
Oncologie Pédiatrique	12	60,0%	
Pédiatrie	18	31,0%	
Pédiatrie Urgences / UHCD	9	25,7%	
Urgences Adultes	12	40,0%	

Moyenne (4,9)	
Fonction	
Aide-soignant(e)	2,0
Autre	1,0
Autre IDE	4,9
Auxiliaire de puériculture	4,9
Infirmier(ère) (IDE)	4,3
Interne	2,8
Médecin thésé	9,7
Services	
Anesthésie et blocs	10,8
Autres unités	4,0
Brûlés Adultes 1er Est	5,0
Oncologie Pédiatrique	4,8
Pédiatrie	4,5
Pédiatrie Urgences / UHCD	6,2
Urgences Adultes	5,1

Tableau 14 : Taux de formation à l'utilisation de MEOPA.

Résultats des taux de formation et moyennes de leur ancienneté en années selon les caractéristiques socio-démographiques et professionnelles.

Aide à la lecture : l'effectif total et celui d'une colonne sont indiqués entre parenthèses (N) et les pourcentages affichés sont calculés par lignes. La somme des effectifs d'une ligne est inférieure à l'effectif total car les personnes ayant indiqué "non" n'ont pas été affichées.

Depuis 2016, le CLUD-SP dispense 2 formations de formateurs par an pour les correspondants douleur, qui à leur tour pourront former leurs collègues. Ainsi, 48 sessions de formation ont été organisées en 2017 pour plus de 175 soignants. Et depuis le changement de fournisseur de MEOPA, les représentants de laboratoire n'interviennent plus dans la formation. Parmi les personnes ayant reçu une formation, 57,3% d'entre elles déclarent l'avoir faite avec le CLUD-SP, 33,9% avec le représentant d'un laboratoire commercialisant le gaz et 8,9% avec les deux. Nos résultats sont concordants avec la dernière EPP faite par le CLUD-SP en 2013(118).

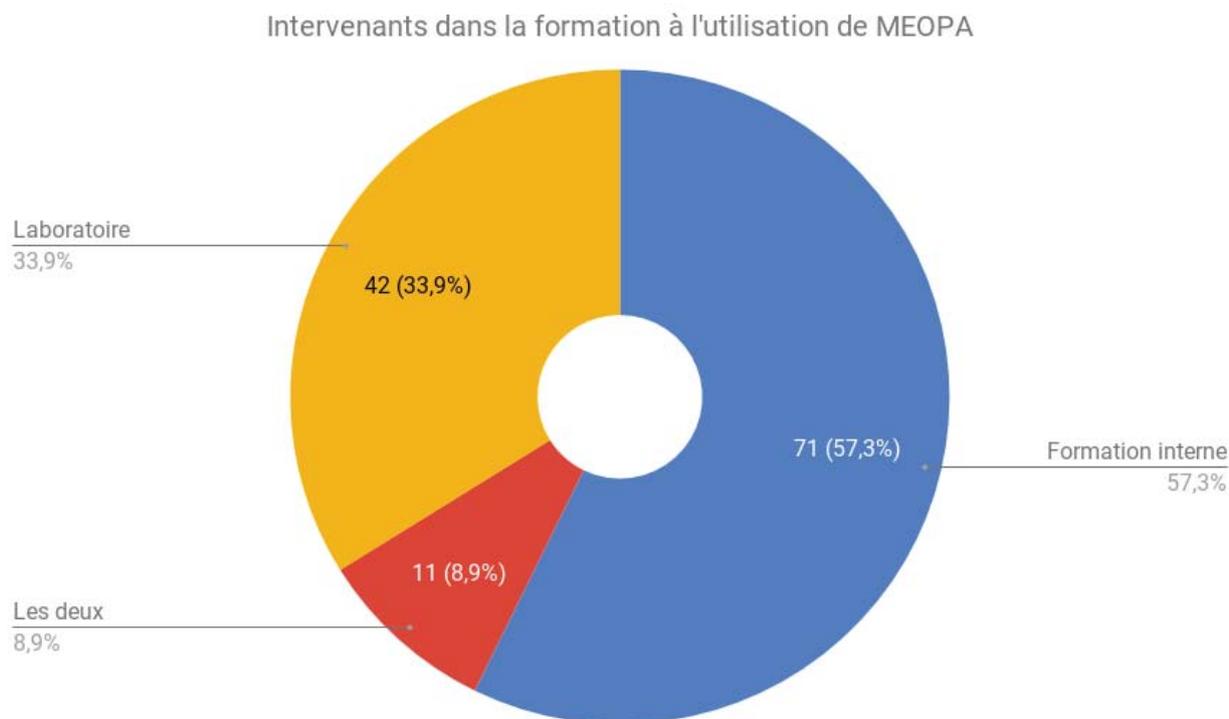


Figure 40 : Intervenants dans la formation à l'utilisation de MEOPA.

3.3.4.3. Expositions

Plus des deux tiers des répondants (77%) déclarent être exposés au MEOPA jusqu'à 4 fois par semaine, et parmi ces derniers, la moitié d'entre eux ne le sont que rarement. On observe que chez les plus de 50 ans, il y a une plus forte proportion de soignants exposés au minimum 5 fois par semaine, mais ces résultats sont à prendre avec précaution par les faibles effectifs dans ces classes d'âge. La tendance inverse s'observe chez les moins de 50 ans, avec une proportion plus importante de soignants exposés rarement contre une faible représentation chez les plus de 50 ans.

Les internes et les autres soignants (kinésithérapeutes, manipulateurs en électroradiologie et sages-femmes) sont exposés plus rarement (72,7% et 51,3%) alors que les auxiliaires de puériculture et les infirmières spécialisées dépassent fréquemment les 4 fois par semaine. Les auxiliaires de puériculture se démarquent nettement des autres groupes à 10 expositions hebdomadaires ou plus ; 27,8% d'entre elles sont concernées par cette fréquence d'exposition, soit 3 à 4 fois plus que dans les autres catégories professionnelles.

Concernant les services, les expositions sont très fréquentes aux urgences pédiatriques, 57,1% des soignants du service déclarent être exposés au MEOPA 10 fois ou plus par semaine. Les expositions sont aussi importantes en oncologie pédiatrique avec 50% des soignants exposés de 5 à 9 fois par semaine. Puis viennent les services des urgences adultes, des brûlés adultes et de pédiatrie avec respectivement 73,3%, 70% et 39,7% des soignants pour 1 à 4 expositions par semaine. Les plateaux chirurgicaux (étiquetés “anesthésie et blocs”) ont 21,1% des soignants pour 10 expositions ou plus par semaine et 42,1% pour 1 à 4 expositions. Dans les autres unités, 58,5% des soignants indiquent moins d’une exposition par semaine.

Pour donner plus de puissance aux analyses statistiques à suivre, nous avons regroupé les sous-catégories du nombre d’expositions par semaine en 2 groupes : fréquence faible (de rare jusqu’à 4 fois par semaine) et fréquence forte (de 5 à 10 fois ou plus par semaine).

L’analyse statistique univariée montre une association significative (*) du nombre d’expositions avec la fonction et les services mais pas avec l’âge ($p > 0,05$).

N (343)	Exceptionnel, rare		1 à 4 fois		5 à 9 fois		10 fois ou plus		Khi2
	N (129)	37,6%	N (135)	39,4%	N (43)	12,5%	N (36)	10,5%	p value
Âge									
20 à 30 ans	49	44,1%	36	32,4%	15	13,5%	11	9,9%	0,586
30 à 40 ans	50	38,2%	51	38,9%	14	10,7%	16	12,2%	
40 à 50 ans	25	34,2%	34	46,6%	7	9,6%	7	9,6%	
50 à 60 ans	4	18,2%	12	54,5%	5	22,7%	1	4,5%	
Plus de 60 ans	1	16,7%	2	33,3%	2	33,3%	1	16,7%	
Fonction									
Aide-soignant(e)	9	47,4%	9	47,4%	1	5,3%	0		0,014*
Autre	8	72,7%	3	27,3%	0		0		
Autre IDE	2	14,3%	8	57,1%	3	21,4%	1	7,1%	
Auxiliaire de puériculture	0		16	44,4%	10	27,8%	10	27,8%	
Infirmier(ère) (IDE)	73	42,0%	65	37,4%	21	12,1%	15	8,6%	
Interne	20	51,3%	10	25,6%	5	12,8%	4	10,3%	
Médecin thésé	17	34,0%	24	48,0%	3	6,0%	6	12,0%	
Services									
Anesthésie et blocs	5	26,3%	8	42,1%	2	10,5%	4	21,1%	≈ 0*
Autres unités	100	58,5%	62	36,3%	6	3,5%	3	1,8%	
Brûlés Adultes 1er Est	1	10,0%	7	70,0%	2	20,0%	0		
Oncologie Pédiatrique	0		7	35,0%	10	50,0%	3	15,0%	
Pédiatrie	16	27,6%	23	39,7%	13	22,4%	6	10,3%	
Pédiatrie Urgences / UHCD	3	8,6%	6	17,1%	6	17,1%	20	57,1%	
Urgences Adultes	4	13,3%	22	73,3%	4	13,3%	0		

Tableau 15 : Fréquence des expositions au MEOPA en nombre moyen d’actes.

Résultats des fréquences des expositions selon le nombre moyen d’actes exposants par semaine.

Aide à la lecture : l’effectif total et celui d’une colonne sont indiqués entre parenthèses (N) et les pourcentages affichés sont calculés par lignes.

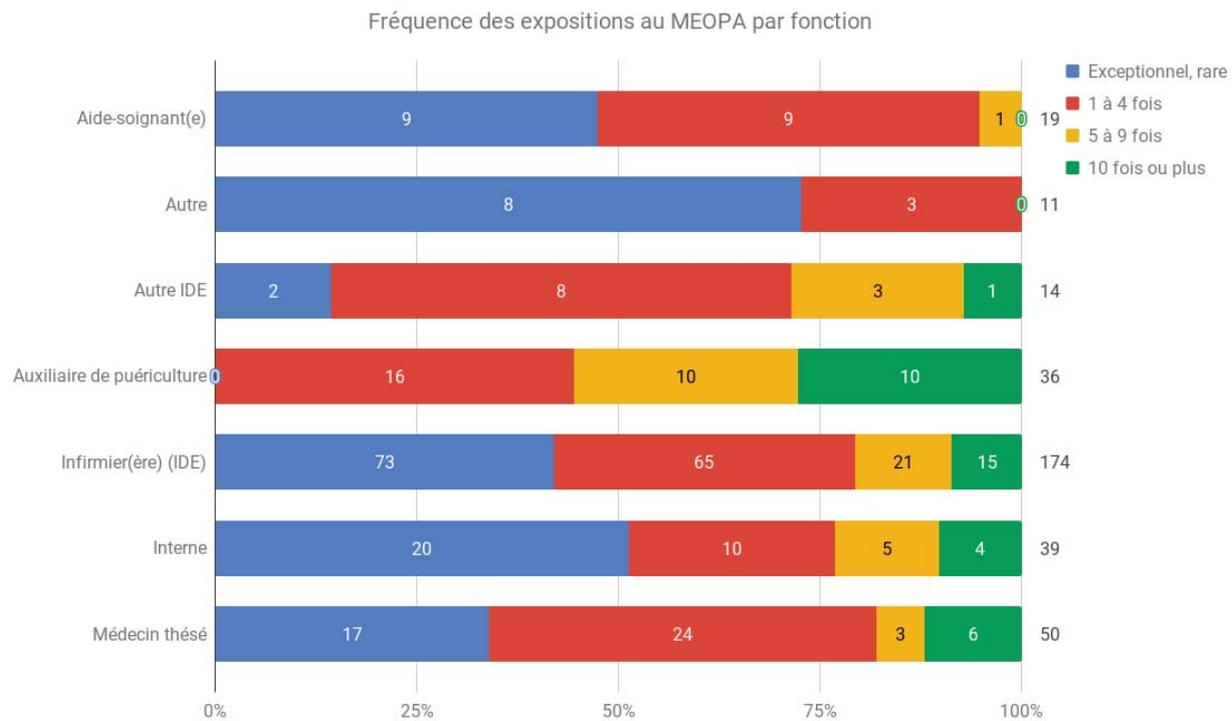


Figure 41 : Fréquence des expositions au MEOPA par fonction.

Sur le tableau suivant, il s'agit du temps moyen d'administration. Tous services confondus, les taux de réponse les plus élevés concernent le temps moyen d'administration de 15 à 30 minutes (66,2%). A des temps plus longs, c'est le service des brûlés adultes qui sort du lot avec 20% de répondants pour 31 à 60 minutes, résultat cohérent avec la pratique du service. Même si cela n'est pas fréquent (2%), les résultats montrent que des soins sous MEOPA peuvent durer plus d'une heure, chez les brûlés adultes et plus rarement dans les plateaux chirurgicaux et en pédiatrie.

	Moins de 15 min		15 à 30 min		31 à 60 min		Plus de 60 min	
N (343)	N (97)	28,3%	N (227)	66,2%	N (12)	3,5%	N (7)	2%
Âge								
20 à 30 ans	39	35,1%	68	61,3%	3	2,7%	1	0,9%
30 à 40 ans	31	23,7%	90	68,7%	8	6,1%	2	1,5%
40 à 50 ans	21	28,8%	48	65,8%	1	1,4%	3	4,1%
50 à 60 ans	4	18,2%	17	77,3%	0		1	4,5%
Plus de 60 ans	2	33,3%	4	66,7%	0		0	
Fonction								
Aide-soignant(e)	4	21,1%	13	68,4%	0		2	10,5%
Autre	1	9,1%	7	63,6%	2	18,2%	1	9,1%
Autre IDE	7	50,0%	7	50,0%	0		0	
Auxiliaire de puériculture	12	33,3%	23	63,9%	1	2,8%	0	
Infirmier(ère) (IDE)	33	19,0%	129	74,1%	7	4,6%	4	2,3%
Interne	22	56,4%	16	41,0%	1	2,6%	0	
Médecin thésé	18	36,0%	32	64,0%	0		0	
Services								
Anesthésie et blocs	8	42,1%	10	52,6%	0		1	5,3%
Autres unités	53	31,0%	108	63,2%	9	5,3%	1	0,6%
Brûlés Adultes 1er Est	0		5	50,0%	2	20,0%	3	30,0%
Oncologie Pédiatrique	4	20,0%	16	80,0%	0		0	
Pédiatrie	18	31,0%	37	63,8%	1	1,7%	2	3,4%
Pédiatrie Urgences / UHCD	9	25,7%	26	74,3%	0		0	
Urgences Adultes	5	16,7%	25	83,3%	0		0	

Tableau 16 : Temps moyen d'administration de MEOPA.

Une moyenne a été calculée sur la variable quantitative d'origine, elle est de 19 minutes.

Aide à la lecture : l'effectif total et celui d'une colonne sont indiqués entre parenthèses (N) et les pourcentages affichés sont calculés par lignes.

Nous avons également obtenu des résultats selon le nombre d'heures d'exposition par semaine, ils sont présentés en annexe 9.

Sur la figure suivante, le rôle des soignants lors des actes exposants au MEOPA est indiqué par fonction. Sans étonnement, on remarque que les auxiliaires de puériculture et les aides-soignantes administrent le plus souvent (91,7% et 73,7%) alors que les infirmières sont plutôt dans les 2 situations (54% et 42,9%). Quant aux médecins, ils interviennent essentiellement dans les soins (82,1% et 74%). Il est intéressant de rappeler que dans la littérature, les personnes les plus exposées sont celles qui se positionnent à la tête du patient lors des administrations.

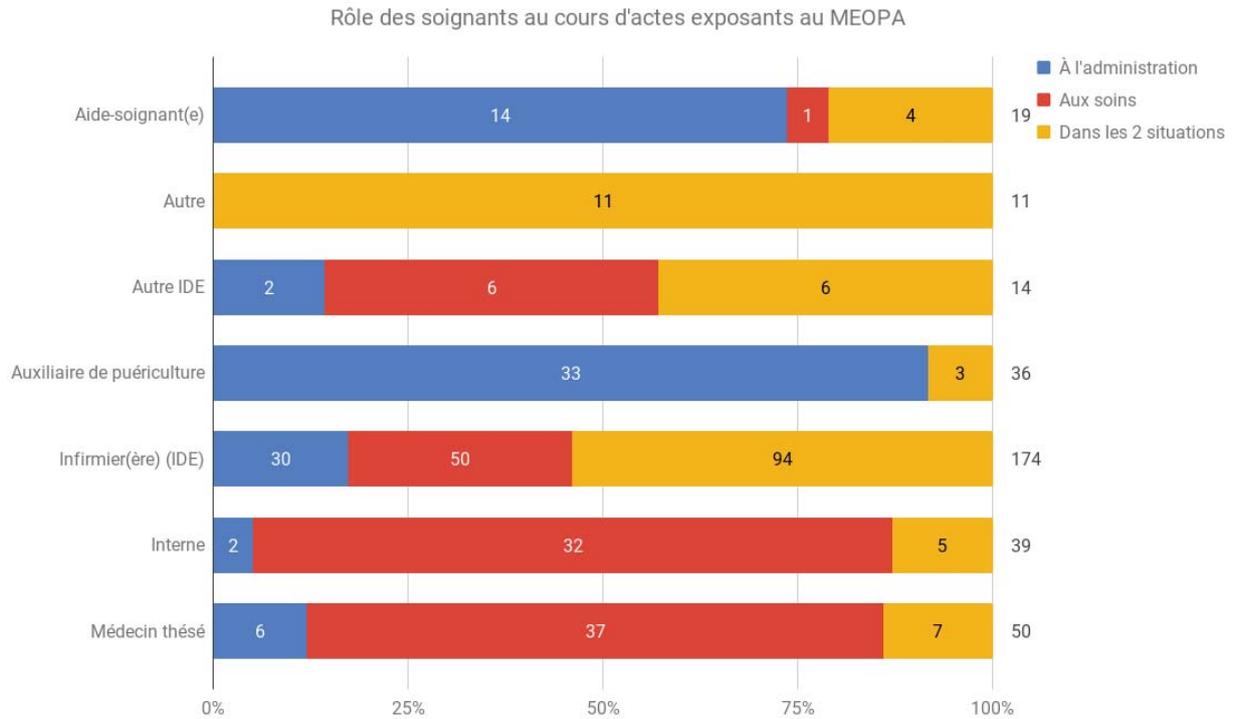


Figure 42 : Rôle des soignants au cours d'actes exposants au MEOPA.

Sur le graphique suivant, les principales situations d'administration de MEOPA sont indiquées. Il est surtout utilisé dans les soins et pansements, la gestion de crises douloureuses, les ponctions veineuses, lombaires et les sutures et petites chirurgies. Dans le questionnaire, nous avons laissé la possibilité de répondre "Autres" et de préciser ce choix par écrit. Les réponses correspondent pour la plupart à des actes médicaux : réduction de fracture ou de luxation (18 occurrences), ablation de broche ou de cathéter (9), biopsie ostéo-médullaire (5), induction d'anesthésie (4), biopsie cutanée, musculaire ou de trophoblaste (3), confection d'un plâtre (4), retrait de dispositifs médicaux (6), IVG (2), gestion d'une crise drépanocytaire (2), paracentèse (2), pose d'une stomie (2), douleurs neuropathiques (1) ; et à des actes d'endoscopie ou de radiologie spécifiques : fibroscopie ou endoscopie (6 occurrences), échographie (4 dont 2 pour les ETO). Une personne a répondu l'aide à la toilette. Ces précisions font passer le nombre d'actes médicaux de 65 à 123, et le nombre d'actes de radiologie de 12 à 22.

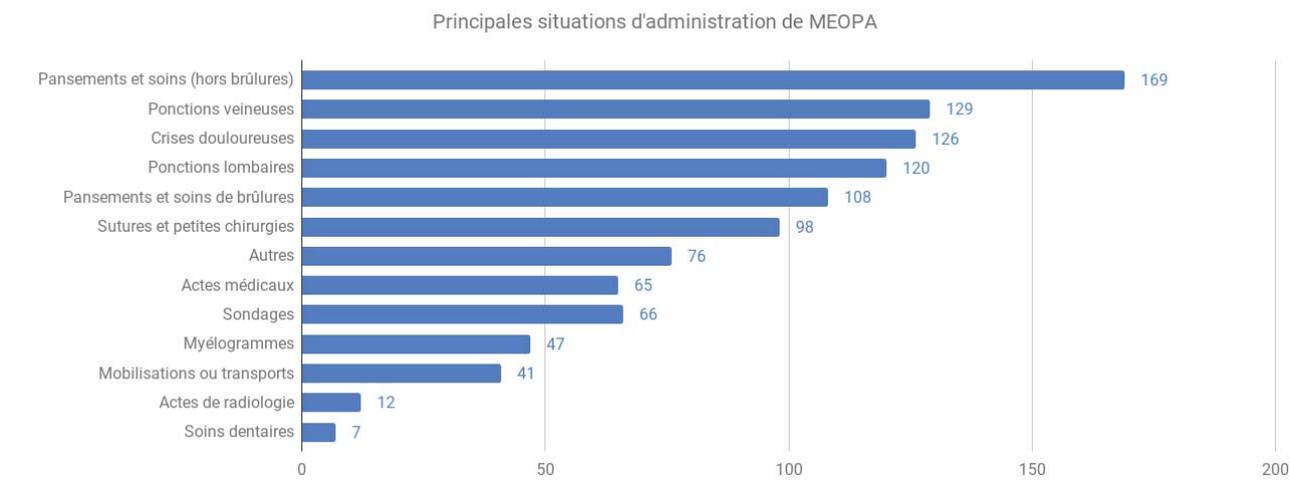


Figure 43 : Principales situations d'administration de MEOPA.

3.3.4.4. Inhalations ressenties lors des expositions

Afin d'évaluer le ressenti des soignants sur une possible inhalation au cours d'actes exposants au MEOPA, nous leur avons posé la question suivante, "Lors des administrations de MEOPA, avez-vous l'impression d'en inhaler ?", et à laquelle ils pouvaient répondre par une échelle de Likert à 6 propositions.

Sur le tableau, on voit que 76,8% des soignants déclarent ressentir rarement à souvent une inhalation, alors que 5,7% en ressentent toujours et 17,4% n'en ressentent jamais. Ainsi, si 82,5% des soignants ont l'impression d'inhaler du MEOPA, seulement 59,1% (n = 133/225) des répondants à l'EPP de 2013 l'ont déclarée(118).

En regardant les chiffres des soignants qui déclarent de "parfois" à "toujours", ce sont les infirmières spécialisées qui ont la plus forte proportion de réponses à toujours (15,4%), les auxiliaires de puéricultures se démarquent nettement des autres à "souvent" (38,2%) puis les deux groupes se retrouvent avec les mêmes proportions à "parfois" (respectivement à 46,2% et 44,1%).

En ce qui concerne les services, les propositions de "parfois" à "toujours" regroupent l'ensemble des réponses chez les brûlés adultes, puis les propositions de "parfois" à "souvent" regroupent la majorité des réponses en oncologie pédiatrique (70%) et aux urgences pédiatriques (65,7%). La majorité des réponses des urgences adultes et de pédiatrie sont retrouvées de "rarement" à "parfois".

Pour donner plus de puissance à l'analyse statistique à suivre, nous avons regroupé les sous-catégories des expositions ressenties en 3 groupes : jamais et rarement, parfois, et souvent et toujours.

L'analyse statistique univariée montre une association significative (*) des expositions ressenties avec la fonction et les services.

	Jamais		Rarement		Parfois		Souvent		Toujours		Khi2
N (343)	N (58)	17,4%	N (114)	34,2%	N (100)	30,0%	N (42)	12,6%	N (19)	5,7%	p value
Fonction											
Aide-soignant(e)	5	29,4%	3	17,6%	6	35,3%	2	11,8%	1	5,9%	≈ 0*
Autre	4	40,0%	4	40,0%	1	10,0%	1	10,0%	0		
Autre IDE	0		4	30,8%	6	46,2%	1	7,7%	2	15,4%	
Auxiliaire de puériculture	1	2,9%	2	5,9%	15	44,1%	13	38,2%	3	8,8%	
Infirmier(ère) (IDE)	30	17,6%	59	34,7%	52	30,6%	16	10,6%	11	6,5%	
Interne	9	23,1%	17	43,6%	9	23,1%	3	7,7%	1	2,6%	
Médecin thésé	9	18,0%	25	50,0%	11	22,0%	4	8,0%	1	2,0%	
Services											
Anesthésie et blocs	4	21,1%	6	31,6%	7	36,8%	0	0,0%	2	10,5%	≈ 0*
Autres unités	43	26,1%	71	43,0%	39	23,6%	10	6,1%	2	1,2%	
Brûlés Adultes 1er Est	0		0		5	50,0%	2	20,0%	3	30,0%	
Oncologie Pédiatrique	2	10,0%	2	10,0%	8	40,0%	6	30,0%	2	10,0%	
Pédiatrie	4	7,3%	16	29,1%	22	40,0%	8	14,5%	5	9,1%	
Pédiatrie Urgences / UHCD	1	2,9%	6	17,1%	10	28,6%	13	37,1%	5	14,3%	
Urgences Adultes	4	13,8%	13	44,8%	9	31,0%	3	10,3%	0		

Tableau 17 : Perception d'une inhalation lors des administrations de MEOPA.

Aide à la lecture : l'effectif total et celui d'une colonne sont indiqués entre parenthèses (N) et les pourcentages affichés sont calculés par lignes. La somme des effectifs d'une ligne est inférieure à l'effectif total car les personnes ayant indiqué "je ne sais pas" n'ont pas été comptabilisés.

Sur le prochain tableau, l’avis des soignants ayant déclarés ressentir une inhalation lors des administrations (exclusion de ceux ayant répondu “jamais” et “je ne sais pas”) a été recueilli au sujet de situations pouvant être responsables d’une exposition : il en ressort que 56,7% des soignants estiment la ventilation insuffisante, 81,8% sont d’accord avec la proximité du masque, 75,7% avec les retraits du masque et 34,2% avec des moyens de ventilation pas toujours utilisés. Des résultats similaires ont été obtenus à l’EPP de 2013, puisque 57% (n = 131/224) ont indiqué une ventilation des locaux non appropriée. Par contre, 68% ont évoqué des fuites au masque et 7% d’autres motifs (fuites au niveau du manomètre, absence de tuyau d’évacuation des gaz exhalés)(118).

Pas du tout d’accord		Pas d’accord		Neutre		D’accord		Tout à fait d’accord		Je ne sais pas	
N (275)											
N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Ventilation insuffisante											
27	9,8%	36	13,1%	50	18,2%	76	27,6%	80	29,1%	6	2,2%
Proximité avec le masque											
5	1,8%	18	6,5%	27	9,8%	98	35,6%	127	46,2%	0	
Retraits du masque											
6	2,2%	23	8,4%	37	13,5%	125	45,5%	83	30,2%	1	0,4%
Moyens pas toujours utilisés											
74	26,9%	67	24,4%	34	12,4%	48	17,5%	43	16,7%	6	2,2%

Tableau 18 : Avis et explications des soignants quant à leur impression d’inhaler du MEOPA.

Aide à la lecture : l’effectif d’une ligne est indiqué entre parenthèses (N) et les pourcentages affichés sont calculés par lignes.

3.3.4.5. Symptômes rythmés par les expositions

Parmi les répondants, 154 personnes déclarent avoir au moins un symptôme rythmé par les expositions au MEOPA, soit 44,9% de la population. On remarque que les plus jeunes déclarent plus (48,6% d’entre eux contre 33,3% des plus âgés) et que les femmes sont plus représentées (48,8% d’entre elles contre 20,8% d’hommes). Les fonctions les plus symptomatiques sont les auxiliaires de puériculture (75%), les aides-soignantes (52,9%) et les infirmières (48,3%). Il n’y a pas de différence majeure au sujet de la formation. D’après le tableau, il semble y avoir une hausse de la part des déclarants en fonction du nombre d’actes et d’heures hebdomadaires. En ce qui concerne les services, les secteurs les plus touchés sont les brûlés adultes (90%), les urgences pédiatriques (85,7%), l’oncologie pédiatrique (65%) et les unités de pédiatrie (51,7%).

L'analyse statistique univariée montre une association significative (*) entre la survenue d'au moins un symptôme et le sexe, la fonction, les horaires, le nombre d'actes et les services.

L'analyse par régression logistique retrouve un effet protecteur chez les plus de 50 ans (OR à 0,258) et le genre masculin (OR à 0,303) ; les aides-soignantes, auxiliaires de puériculture et infirmières semblent plus à risque par rapport au groupe de référence (OR à 2,868 et à 1,859), de même que pour les personnes administrant fréquemment du MEOPA (OR à 2,530) et celles travaillant dans les services à plus de 200 bouteilles par an (OR à 2,476).

N (343)	Au moins un		(Khi2) et régression	
	N (154)	44,9%	OR	p value
Âge (p 0,056)				
20 à 30 ans	54	48,6%	1	0,078
30 à 40 ans	65	49,4%	0,823	0,503
40 à 50 ans	28	38,4%	0,631	0,183
50 à 60 ans	5	22,7%	0,258	0,013*
Plus de 60 ans	2	33,3%		
Sexe (p ≈ 0*)				
Femme	144	48,8%	1	-
Homme	10	20,8%	0,303	0,006*
Fonction (p ≈ 0*)				
Aide-soignant(e)	10	52,6%	2,868	0,011*
Auxiliaire de puériculture	27	75,0%		
Autre	2	18,2%	1,859	0,044*
Autre IDE	5	35,7%		
Infirmier(ère) (IDE)	84	48,3%		
Interne	11	28,2%	1	0,031*
Médecin thésé	15	30,0%		
Horaires (p ≈ 0*)				
Travail de nuit	14	56,0%		
Travail en journée	53	32,1%		
2 x 12 heures	7	29,2%		
2 x 8 heures	59	60,8%		
3 x 8 heures	21	65,6%		

N (316)	Au moins un		(Khi2) et régression	
	N (154)	44,9%	OR	p value
Formation (p 0,2)				
Non	104	47,5%		
Oui	50	40,3%		
Nombre d'actes par semaine (p ≈ 0*)				
Exceptionnel, rare	48	37,2%	1	-
1 à 4 fois	54	40,0%		
5 à 9 fois	28	65,1%	2,53	0,005*
10 fois ou plus	24	66,7%		
Nombre d'heures par semaine				
0	42	31,3%		
1	48	47,5%		
2	22	42,3%		
3 à 5	33	76,7%		
6 à 10	4	57,1%		
Plus de 10	5	83,3%		
Services (p ≈ 0*)				
Anesthésie et blocs	3	15,8%	1	-
Autres unités	54	31,6%		
Brûlés Adultes 1er Est	9	90,0%	2,476	0,001*
Oncologie Pédiatrique	13	65,0%		
Pédiatrie	30	51,7%		
Pédiatrie Urgences / UHCD	30	85,7%		
Urgences Adultes	15	50,0%		

Tableau 19 : Facteurs pouvant induire la déclaration de symptômes rythmés par les expositions au MEOPA.

Aide à la lecture : l'effectif total et celui d'une colonne sont indiqués entre parenthèses (N) et les pourcentages affichés sont calculés par lignes.

En regardant les données de plus près, 35,7% déclarent un symptôme unique, 27,3% deux symptômes, et sont principalement dans les autres unités, les services de pédiatrie et les urgences adultes ; puis 16,2% déclarent trois symptômes, 11,7 % quatre symptômes, dans les services de pédiatrie et aux urgences adultes. Au-delà, 9% déclarent de 5 à 10 symptômes, essentiellement chez les brûlés adultes et les services de pédiatrie.

Le graphique suivant représente le nombre de symptômes rythmés par les expositions. Les symptômes les plus fréquents sont les céphalées et raideurs de nuque, les bouffées de chaleur, les vertiges et les nausées et vomissements. Ce sont ces effets, connus et décrits pour des expositions au protoxyde d'azote, que nous avons principalement entendu des soignants, et que nous avons retenu pour l'analyse statistique.

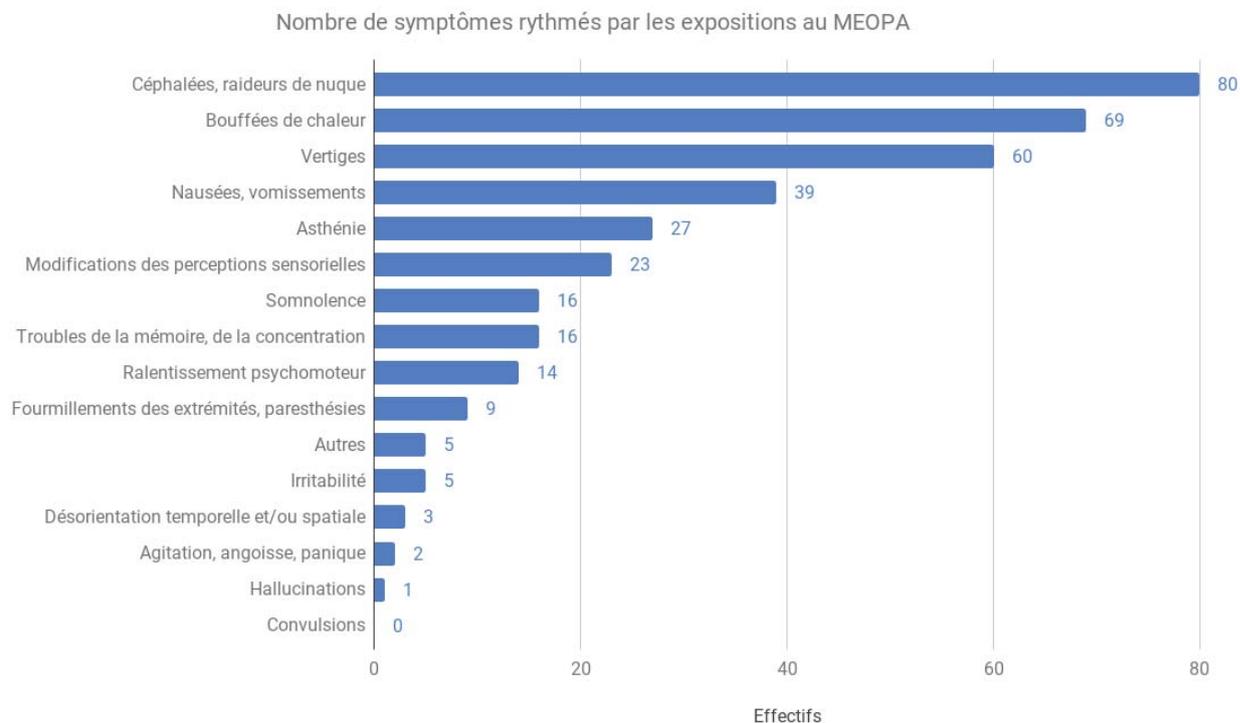


Figure 44 : Nombre de symptômes rythmés par les expositions au MEOPA.

Parmi les autres symptômes déclarés, on retrouve l'euphorie ou une sensation gustative.

L'analyse statistique univariée montre une association significative (*) entre les céphalées et le sexe, la fonction, les horaires, le nombre d'actes et les services.

L'analyse par régression logistique retrouve un effet protecteur du genre masculin (OR à 0,079) ; le travail en 2 x 8, en 3 x 8 et de nuit semble plus à risque par rapport au groupe de référence (OR à 4,279, à 2,979 et à 2,877). Bien-sûr, ces résultats doivent être pris avec réserve en raison des faibles effectifs. Et les personnes travaillant dans les services à plus de 200 bouteilles par an semblent plus à risque par rapport au groupe de référence (OR à 2,937).

N (343)	Oui		Khi2 et régression	
	N (80)	23,3%	OR	p value
Âge (p 0,081)				
20 à 30 ans	24	21,6%		
30 à 40 ans	38	29,0%		
40 à 50 ans	16	21,9%		
50 à 60 ans	2	9,1%		
Plus de 60 ans	0			
Sexe (p ≈ 0*)				
Femme	79	26,8%	1	-
Homme	1	2,1%	0,079	0,014*
Fonction (p ≈ 0*)				
Aide-soignant(e)	5	26,3%		
Auxiliaire de puériculture	19	52,8%		
Autre	0			
Autre IDE	3	21,4%		
Infirmier(ère) (IDE)	46	26,4%		
Interne	3	7,7%		
Médecin thésé	4	8,0%		
Horaires (p ≈ 0*)				
Travail de nuit	9	36,0%	2,877	0,039*
Travail en journée	17	10,3%	1	≈ 0*
2 x 12 heures	3	12,5%	0,792	0,736
2 x 8 heures	40	41,2%	4,279	≈ 0*
3 x 8 heures	11	34,4%	2,979	0,027*

N (343)	Oui		Khi2 et régression	
	N (80)	23,3%	OR	p value
Formation (p 0,297)				
Non	55	25,1%		
Oui	25	20,2%		
Nombre d'actes par semaine (p ≈ 0*)				
Exceptionnel, rare	23	17,8%		
1 à 4 fois	27	20,0%		
5 à 9 fois	16	37,2%		
10 fois ou plus	14	38,9%		
Nombre d'heures par semaine				
0	19	14,2%		
1	22	21,8%		
2	13	25,0%		
3 à 5	19	44,2%		
6 à 10	2	28,6%		
Plus de 10	5	83,3%		
Services (p ≈ 0*)				
Anesthésie et blocs	1	5,3%	1	-
Autres unités	23	13,5%		
Brûlés Adultes 1er Est	7	70,0%	2,937	≈ 0*
Oncologie Pédiatrique	8	40,0%		
Pédiatrie	15	25,9%		
Pédiatrie Urgences / UHCD	19	54,3%		
Urgences Adultes	7	23,3%		

Tableau 20 : Facteurs pouvant induire la déclaration de céphalées ou raideurs de nuque.

Aide à la lecture : l'effectif total et celui d'une colonne sont indiqués entre parenthèses (N) et les pourcentages affichés sont calculés par lignes.

L'analyse statistique univariée montre une association significative (*) entre les bouffées de chaleur et l'âge, le sexe, la fonction, les horaires, la formation, le nombre d'actes et les services.

L'analyse par régression logistique retrouve un effet protecteur chez les 30-50 ans (OR à 0,399 et 0,285) et le genre masculin (OR à 0,154) ; les aides-soignantes et auxiliaires de puériculture semblent plus à risque par rapport au groupe de référence (OR à 3,498), de même que pour les personnes administrant fréquemment du MEOPA (OR 2,171) et celles travaillant dans les services à plus de 200 bouteilles par an (OR à 2,799).

N (343)	Oui		Khi2 et régression	
	N (69)	20,1%	OR	p value
Âge (p 0,001*)				
20 à 30 ans	34	30,6%	1	0,014*
30 à 40 ans	26	19,8%	0,399	0,007*
40 à 50 ans	9	12,3%	0,285	0,006*
50 à 60 ans	0		≈ 0	0,998
Plus de 60 ans	0			
Sexe (p 0,003*)				
Femme	67	22,7%	1	-
Homme	2	4,2%	0,154	0,018*
Fonction (p ≈ 0*)				
Aide-soignant(e)	4	21,1%	3,498	0,012*
Auxiliaire de puériculture	19	52,8%		
Autre	1	9,1%	1,735	0,197
Autre IDE	2	14,3%		
Infirmier(ère) (IDE)	33	19,0%	1	0,035*
Interne	5	12,8%		
Médecin thésé	5	10,0%		
Horaires (p 0,001*)				
Travail de nuit	8	32,0%		
Travail en journée	19	11,5%		
2 x 12 heures	5	20,8%		
2 x 8 heures	25	25,8%		
3 x 8 heures	12	37,5%		

N (343)	Oui		Khi2 et régression	
	N (69)	20,1%	OR	p value
Formation (p 0,012*)				
Non	53	24,2%		
Oui	16	12,9%		
Nombre d'actes par semaine (p ≈ 0*)				
Exceptionnel, rare	16	12,4%	1	-
1 à 4 fois	26	19,3%		
5 à 9 fois	14	32,6%	2,171	0,034*
10 fois ou plus	13	36,1%		
Nombre d'heures par semaine				
0	14	10,4%		
1	24	23,8%		
2	10	19,2%		
3 à 5	18	41,9%		
6 à 10	0			
Plus de 10	3	50,0%		
Services (p ≈ 0*)				
Anesthésie et blocs	1	5,3%	1	-
Autres unités	17	9,9%		
Brûlés Adultes 1er Est	4	40,0%	2,799	0,003*
Oncologie Pédiatrique	10	50,0%		
Pédiatrie	17	29,3%		
Pédiatrie Urgences / UHCD	16	45,7%		
Urgences Adultes	4	13,3%		

Tableau 21 : Facteurs pouvant induire la déclaration de bouffées de chaleur.

Aide à la lecture : l'effectif total et celui d'une colonne sont indiqués entre parenthèses (N) et les pourcentages affichés sont calculés par lignes.

L'analyse statistique univariée montre une association significative (*) entre les vertiges et le sexe, la fonction, les horaires, le nombre d'actes et les services.

L'analyse par régression logistique montre que les aides-soignantes, auxiliaires de puériculture et infirmières semblent plus à risque par rapport au groupe de référence (OR à 2,955 et à 2,555), de même que pour les personnes travaillant dans les services à plus de 200 bouteilles par an (OR à 4,009).

N (343)	Oui		Khi2 et régression	
	N (60)	17,5%	OR	p value
Âge (p 0,085)				
20 à 30 ans	17	15,3%		
30 à 40 ans	31	23,7%		
40 à 50 ans	10	13,7%		
50 à 60 ans	2	9,1%		
Plus de 60 ans	0			
Sexe (p 0,027*)				
Femme	57	19,3%		
Homme	3	6,3%		
Fonction (p 0,008*)				
Aide-soignant(e)	5	26,3%	2,955	0,035*
Auxiliaire de puériculture	10	27,8%		
Autre	0		2,555	0,034*
Autre IDE	3	21,4%		
Infirmier(ère) (IDE)	35	20,1%		
Interne	2	5,1%	1	0,073
Médecin thésé	5	10,0%		
Horaires (p 0,028*)				
Travail de nuit	5	20,0%		
Travail en journée	20	12,1%		
2 x 12 heures	2	8,3%		
2 x 8 heures	24	24,7%		
3 x 8 heures	9	28,1%		

N (343)	Oui		Khi2 et régression	
	N (60)	17,5%	OR	p value
Formation (p 0,275)				
Non	42	19,2%		
Oui	18	14,5%		
Nombre d'actes par semaine (p 0,015*)				
Exceptionnel, rare	13	10,1%		
1 à 4 fois	26	19,3%		
5 à 9 fois	8	18,6%		
10 fois ou plus	13	36,1%		
Nombre d'heures par semaine				
0	14	10,4%		
1	21	20,8%		
2	6	11,5%		
3 à 5	16	37,2%		
6 à 10	1	14,3%		
Plus de 10	2	33,3%		
Services (p ≈ 0*)				
Anesthésie et blocs	2	10,5%	1	-
Autres unités	14	8,2%		
Brûlés Adultes 1er Est	5	50,0%	4,009	≈ 0*
Oncologie Pédiatrique	3	15,0%		
Pédiatrie	15	25,9%		
Pédiatrie Urgences / UHCD	12	34,3%		
Urgences Adultes	9	30,0%		

Tableau 22 : Facteurs pouvant induire la déclaration de vertiges.

Aide à la lecture : l'effectif total et celui d'une colonne sont indiqués entre parenthèses (N) et les pourcentages affichés sont calculés par lignes.

L'analyse statistique univariée montre une association significative (*) entre les nausées et l'âge, le sexe, les horaires, le nombre d'actes et les services. L'association observée entre les nausées et les horaires est critiquable car 3 cellules du test statistique (30%) ont un effectif théorique inférieur à 5 : l'effet peut être surestimé.

L'analyse par régression logistique montre que les 30-40 ans semblent plus à risque par rapport au groupe de référence (OR à 2,488), de même que pour les personnes travaillant dans les services à plus de 200 bouteilles par an (OR à 4,386).

N (343)	Oui		Khi2 et régression	
	N (39)	11,4%	OR	p value
Âge (p 0,008*)				
20 à 30 ans	9	8,1%	1	0,151
30 à 40 ans	24	18,3%	2,488	0,032*
40 à 50 ans	6	8,2%	1,272	0,67
50 à 60 ans	0		≈ 0*	0,998
Plus de 60 ans	0			
Sexe (p 0,029*)				
Femme	38	12,9%		
Homme	1	2,1%		
Fonction (p 0,421)				
Aide-soignant(e)	1	5,3%		
Auxiliaire de puériculture	7	19,4%		
Autre	1	9,1%		
Autre IDE	3	21,4%		
Infirmier(ère) (IDE)	20	11,5%		
Interne	3	7,7%		
Médecin thésé	4	8,0%		
Horaires (p 0,008*)				
Travail de nuit	4	16,0%		
Travail en journée	9	5,5%		
2 x 12 heures	3	12,5%		
2 x 8 heures	15	15,5%		
3 x 8 heures	8	25,0%		

N (343)	Oui		Khi2 et régression	
	N (39)	11,4%	OR	p value
Formation (p 0,147)				
Non	29	13,2%		
Oui	10	8,1%		
Nombre d'actes par semaine (p 0,043*)				
Exceptionnel, rare	13	10,1%		
1 à 4 fois	12	8,9%		
5 à 9 fois	5	11,6%		
10 fois ou plus	9	25,0%		
Nombre d'heures par semaine				
0	10	7,5%		
1	12	11,9%		
2	4	7,7%		
3 à 5	10	23,3%		
6 à 10	1	14,3%		
Plus de 10	2	33,3%		
Services (p ≈ 0*)				
Anesthésie et blocs	1	5,3%	1	-
Autres unités	8	4,7%		
Brûlés Adultes 1er Est	4	40,0%	4,386	≈ 0*
Oncologie Pédiatrique	2	10,0%		
Pédiatrie	10	17,2%		
Pédiatrie Urgences / UHCD	11	31,4%		
Urgences Adultes	3	10,0%		

Tableau 23 : Facteurs pouvant induire la déclaration de nausées.

Aide à la lecture : l'effectif total et celui d'une colonne sont indiqués entre parenthèses (N) et les pourcentages affichés sont calculés par lignes.

3.3.4.6. Symptômes en dehors du travail

Comme nous l’avons rappelé précédemment, les symptômes recherchés peuvent survenir lors d’une exposition au protoxyde d’azote puis disparaissent dans les minutes ou heures qui suivent, sans phénomène de rémanence. Si la partie précédente du questionnaire traitait des symptômes rythmés par les expositions, nous avons souhaité avoir un aperçu sur le nombre de signes en dehors du travail.

Sur le graphique suivant, on retrouve ces mêmes symptômes, avec en rouge le nombre de signes déclarés au travail et à l’extérieur, alors qu’en bleu, ils ne sont déclarés qu’en dehors. Cela signifie que parmi les 80 personnes ayant déclarés des céphalées rythmées par le travail, 21 d’entre elles en avaient aussi en dehors, soit 26,3%. Pour les bouffées de chaleur cela fait 10,1%, 5% pour les vertiges, 10,3% pour les nausées et 27,3% des symptômes globaux. Si cela ne remet pas en cause les analyses précédentes, puisque la question posée précisait bien la notion de “rythmicité” par les administrations, il semble judicieux de prendre ces résultats avec précaution, en particulier pour les céphalées.

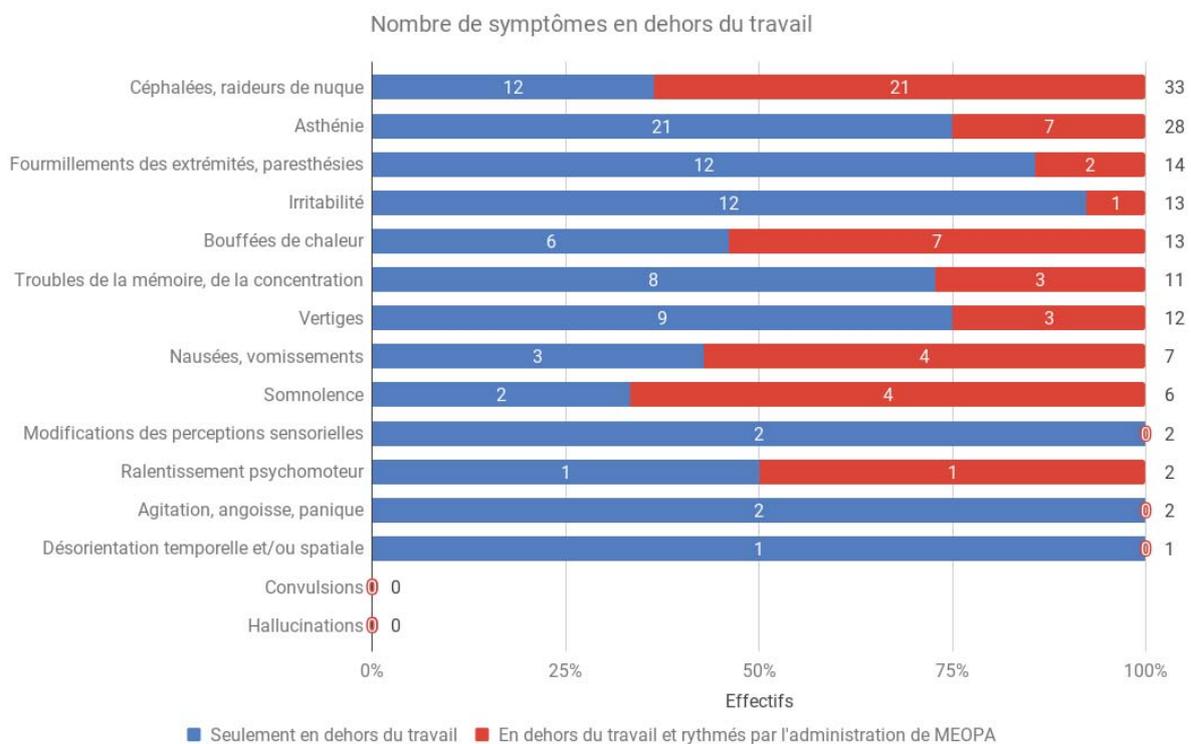


Figure 45 : Nombre de symptômes en dehors du travail.

3.3.4.7. Troubles de la procréation

L'analyse statistique univariée montre une association significative (*) entre la difficulté à concevoir et les horaires et les services. L'association observée entre la difficulté à concevoir et les horaires est critiquable car 4 cellules du test statistique (40%) ont un effectif théorique inférieur à 5. L'effet peut être surestimé.

L'analyse par régression logistique montre que le travail en 2 x 12 semble plus à risque par rapport au groupe de référence (OR à 15,818) mais ce résultat ne peut pas être interprété en raison de données manquantes (40,8 %) et d'effectifs très différents entre les sous-catégories.

N (203)	Oui		Khi2 et régression	
	N (13)	6,4%	OR	p value
Âge (p 0,187)				
20 à 30 ans	1	1,6%		
30 à 40 ans	9	9,9%		
40 à 50 ans	3	7,1%		
50 à 60 ans	0			
Plus de 60 ans	0			
Sexe (p 0,183)				
Femme	13	7,2%		
Homme	0			
Fonction (p 0,633)				
Aide-soignant(e)	0			
Auxiliaire de puériculture	2	10,0%		
Autre	0			
Autre IDE	2	16,7%		
Infirmier(ère) (IDE)	7	6,7%		
Interne	0			
Médecin thésé	2	6,1%		
Horaires (p 0,008*)				
Travail de nuit	1	4,3%	1,977	0,585
Travail en journée	2	2,2%	1	0,039*
2 x 12 heures	4	26,7%	15,818	0,003*
2 x 8 heures	5	8,9%	4,265	0,09
3 x 8 heures	1	5,0%	2,289	0,508

N (203)	Oui		Khi2 et régression	
	N (13)	6,4%	OR	p value
Formation (p 0,998)				
Non	8	6,4%		
Oui	5	6,4%		
Nombre d'actes par semaine (p 0,172)				
Exceptionnel, rare	3	3,8%		
1 à 4 fois	9	11,5%		
5 à 9 fois	0			
10 fois ou plus	1	5,0%		
Nombre d'heures par semaine				
0	5	6,3%		
1	5	8,8%		
2	3	8,8%		
3 à 5	0			
6 à 10	0			
Plus de 10	0			
Services (p 0,027*)				
Anesthésie et blocs	1	7,1%		
Autres unités	2	2,2%		
Brûlés Adultes 1er Est	0			
Oncologie Pédiatrique	0			
Pédiatrie	6	15,8%		
Pédiatrie Urgences / UHCD	0			
Urgences Adultes	4	20,0%		

Tableau 24 : Facteurs pouvant induire la déclaration de difficultés à concevoir.

Aide à la lecture : l'effectif total et celui d'une colonne sont indiqués entre parenthèses (N) et les pourcentages affichés sont calculés par lignes. La somme des effectifs d'une ligne est inférieure à l'effectif total car les personnes ayant indiqué "non" et "non concerné(e)" n'ont pas été affichées.

L'analyse statistique des fausses couches spontanées n'a pas donné de résultats significatifs.

N (187)	Oui		Khi2 et régression	
	N (17)	9,1%	OR	p value
Âge (p 0,215)				
20 à 30 ans	2	3,4%		
30 à 40 ans	11	12,5%		
40 à 50 ans	4	11,8%		
50 à 60 ans	0			
Plus de 60 ans	0			
Fonction (p 0,252)				
Aide-soignant(e)	0			
Auxiliaire de puériculture	0			
Autre	0			
Autre IDE	2	20,0%		
Infirmier(ère) (IDE)	10	10,2%		
Interne	1	5,3%		
Médecin thésé	4	13,3%		
Service (p 0,180)				
Anesthésie et blocs	1	9,1%		
Autres unités	5	6,0%		
Brûlés Adultes 1er Est	1	25,0%		
Oncologie Pédiatrique	2	18,2%		
Pédiatrie	6	16,7%		
Pédiatrie Urgences / UHCD	0			
Urgences Adultes	2	11,1%		

N (187)	Oui		Khi2 et régression	
	N (17)	9,1%	OR	p value
Formation (p 0,218)				
Non	8	7,0%		
Oui	9	12,3%		
Nombre d'actes par semaine (p 0,618)				
Exceptionnel, rare	5	7,0%		
1 à 4 fois	9	11,8%		
5 à 9 fois	1	4,0%		
10 fois ou plus	2	11,8%		
Nombre d'heures par semaine				
0	8	10,4%		
1	3	5,8%		
2	4	12,9%		
3 à 5	1	4,5%		
6 à 10	1	50,0%		
Plus de 10	0			
Horaires (p 0,394)				
Travail de nuit	1	4,8%		
Travail en journée	5	6,3%		
2 x 12 heures	3	21,4%		
2 x 8 heures	6	10,9%		
3 x 8 heures	2	11,1%		

Tableau 25 : Facteurs pouvant induire la déclaration de fausses couches spontanées.

Aide à la lecture : l'effectif total et celui d'une colonne sont indiqués entre parenthèses (N) et les pourcentages affichés sont calculés par lignes. La somme des effectifs d'une ligne est inférieure à l'effectif total car les personnes ayant indiqué "non" et "non concerné(e)" n'ont pas été affichées.

3.3.4.8. Qualité de vie perçue au travail

Nous avons également interrogé les soignants au sujet de leur qualité de vie perçue au travail. Nous avons utilisé des échelles de Likert impaires à 5 propositions, allant de très faible à très fort, et les questions portaient sur le bien-être, le rythme, la charge physique et mentale, et la station debout prolongée. L'objectif était de rechercher des facteurs de confusion décrits dans la littérature par la surreprésentation d'éléments stressants physiquement et psychiquement au sein de ceux qui avaient des symptômes rythmés par les administrations de MEOPA.

L'analyse des résultats n'a pas retrouvé plus de répondants chez les soignants symptomatiques, quels que soient les questions et items de réponses. Et au sein des 2 populations, symptomatiques et asymptomatiques, les réponses suivaient une répartition normale superposable.

3.3.4.9. Pratiques d'utilisation et moyens d'évacuation des gaz expirés

Nous avons recueilli des informations sur les pratiques d'utilisation du MEOPA et les moyens d'évacuation des gaz expirés. Nous cherchions à savoir si les soignants utilisent le tuyau d'évacuation et de quelle façon : à la fenêtre, à la porte, dans le couloir, branché à une ventilation passive, à une VMC ou à prise SEGA ?

Le tuyau mis à la fenêtre semble être la pratique la plus fréquente, 48% des soignants déclarent le faire souvent ou systématiquement. Mais cela n'est pas toujours possible, car les administrations peuvent se faire dans des pièces sans fenêtre ou sans possibilité de l'ouvrir, soit pour limiter le risque infectieux, notamment dans les services d'oncologie, soit par mesure de sécurité. La pièce n'est que trop rarement aérée après les administrations, 54,7% des soignants déclarent ne jamais aérer ou le faire rarement, contre souvent ou après chaque soin pour 35%.

L'analyse statistique univariée montre une association significative (*) entre la survenue d'au moins un symptôme et le tuyau mis à la ventilation passive et au plus loin des soins.

Étonnamment, l'analyse par régression logistique montre un effet protecteur chez les personnes n'utilisant pas de ventilation passive (OR à 0,256). Ce résultat peu cohérent, ne peut pas être interprété comme tel, en raison de données manquantes (4,7 %) et d'effectifs très différents entre les sous-catégories malgré un regroupement en 3 groupes.

	Jamais		Rarement		Parfois		Souvent		Toujours	
	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Tuyau à la fenêtre (p 0,112)										
Au moins un symptôme	53	35,1%	16	10,6%	16	10,6%	16	10,6%	50	33,1%
Total général	118	35,2%	28	8,4%	28	8,4%	49	14,6%	112	33,4%
Tuyau à la porte (p 0,958)										
Au moins un symptôme	106	70,2%	15	9,9%	17	11,3%	9	6,0%	4	2,6%
Total général	236	70,4%	29	8,7%	40	11,9%	23	6,9%	7	2,1%
Tuyau + ventilation non activable (p 0,002*)										
Au moins un symptôme	114	77,0%	7	4,7%	5	3,4%	10	6,8%	12	8,1%
Total général	276	84,4%	8	2,4%	13	4,0%	15	4,6%	15	4,6%
p value	0,002*		0,231				0,003*			
OR	0,256		0,485				1			
Tuyau + VMC (p 0,53)										
Au moins un symptôme	120	82,8%	2	1,4%	6	4,1%	8	5,5%	9	6,2%
Total général	271	85,0%	5	1,6%	12	3,8%	13	4,1%	18	5,6%
Tuyau dans la salle (p 0,713)										
Au moins un symptôme	100	67,1%	19	12,8%	10	6,7%	8	5,4%	12	8,1%
Total général	226	68,5%	32	9,7%	26	7,9%	21	6,4%	25	7,6%
Tuyau dans le couloir (p 0,037*)										
Au moins un symptôme	103	68,7%	17	11,3%	21	14,0%	8	5,3%	1	0,7%
Total général	248	74,5%	26	7,8%	38	11,4%	18	5,4%	3	0,9%
Tuyau au plus loin des soins (p 0,03*)										
Au moins un symptôme	88	60,7%	10	6,9%	25	17,2%	10	6,9%	12	8,3%
Total général	206	63,4%	15	4,6%	44	13,5%	28	8,6%	32	9,8%

Tuyau + prise SEGA (p 0,371)										
Au moins un symptôme	97	66,4%	3	2,1%	18	12,3%	15	10,3%	13	8,9%
Total général	218	68,6%	5	1,6%	32	10,1%	30	9,4%	33	10,4%
Aération de la pièce (p 0,674)										
Au moins un symptôme	47	31,5%	34	22,8%	14	9,4%	25	16,8%	29	19,5%
Total général	109	34,1%	66	20,6%	33	10,3%	58	18,1%	54	16,9%

Tableau 26 : Moyens d'évacuation des gaz expirés et symptômes rythmés par les administrations.

Aide à la lecture : les pourcentages affichés sont calculés par lignes. Les personnes ayant indiqué "je ne sais pas" et/ou n'ayant aucun symptôme n'ont pas été affichées.

Nous avons également obtenu d'autres résultats sur les moyens d'évacuation des gaz expirés selon les services, ils sont présentés en annexe 10.

D'après le tableau suivant, 16,5% des soignants indiquent l'utilisation systématique d'un débit fixe d'administration, souvent pour 24,3% et jamais pour 32%. Comme nous l'avons vu, les recommandations de bonne pratique préconisent l'utilisation d'un débit adapté à la respiration du patient (et non fixe), ce que font systématiquement 40,4% des soignants, souvent pour 28,9% et jamais pour 12%. Dans les services de pédiatrie, 43,5% des soignants sollicitent l'aide des parents régulièrement ou à chaque soin. Enfin, 55,9% déclarent fermer souvent ou systématiquement le robinet avant le retrait du masque, geste recommandé dans la réduction des expositions.

Jamais		Rarement		Parfois		Souvent		Toujours	
N (343)									
N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Utilisation d'un masque bucco-nasal									
37	11,0%	1	0,3%	3	0,9%	13	3,9%	281	83,9%
Utilisation d'un masque nasal									
305	92,1%	13	3,9%	6	1,8%	6	1,8%	1	0,3%
Utilisation d'un débit fixe									
107	32,0%	49	14,7%	42	12,6%	81	24,3%	55	16,5%
Utilisation d'un débit adapté à la respiration									
40	12,0%	24	7,2%	38	11,4%	96	28,9%	134	40,4%
Sollicitation de l'aide des parents									
50	22,4%	20	9,0%	56	25,1%	76	34,1%	21	9,4%
Robinet fermé avant le retrait du masque									
31	9,5%	52	15,9%	61	18,7%	90	27,5%	93	28,4%

Tableau 27 : Pratiques professionnelles d'utilisation du MEOPA.

Aide à la lecture : l'effectif total est indiqué entre parenthèses (N) et les pourcentages affichés sont calculés par lignes. La somme des effectifs d'une ligne est inférieure à l'effectif total car les personnes ayant indiqué "je ne sais pas" n'ont pas été comptabilisées.

Le tableau suivant illustre les conditions de stockage des bouteilles, le plus souvent dans un espace réservé comme les recommandations le suggèrent (48,9%), une salle de soins (41,2%) ou parfois dans un arsenal (25,6%). En revanche, cet espace n'est la plupart du temps pas sécurisé (22%) pour 26% (n = 20/78) des services de notre étude. Mais ce dernier résultat semble s'améliorer depuis l'EPP de 2013 où 6% (n = 3/53) des cadres ont indiqué un espace fermé(118).

Oui		Non	
N (343)			
N	%	N	%
Stockage dans un arsenal			
81	25,6%	235	74,4%
Stockage dans une salle de soins			
133	41,2%	190	58,8%
Stockage dans un couloir			
31	9,6%	292	90,4%
Stockage dans un espace réservé			
150	48,9%	157	51,1%
Stockage dans un espace sécurisé			
67	22,0%	238	78,0%

Tableau 27 : Conditions de stockage du MEOPA.

Aide à la lecture : l'effectif total est indiqué entre parenthèses (N) et les pourcentages affichés sont calculés par lignes. La somme des effectifs d'une ligne est inférieure à l'effectif total car les personnes ayant indiqué "je ne sais pas" n'ont pas été comptabilisées.

D'après le tableau suivant, la prescription médicale de l'administration est faite systématiquement pour 38,1% des soignants ou jamais pour 11,5% ; alors qu'à l'EPP de 2013, 54% (n = 120/224) ont répondu "toujours", 13% (n = 30/224) "presque toujours" et 11% (n = 25/224) "jamais". En effet, ce médicament est souvent assimilé comme un consommable, utilisé sans prescription, usage certainement lié au bon rapport bénéfice/risque du gaz. Pour autant, cette confiance ne doit pas faire oublier qu'il s'agit d'un médicament appartenant à la liste I et que sa prescription est obligatoire(118).

La traçabilité de l'acte sur le dossier patient est réalisée systématiquement pour 25,3% des soignants ou souvent pour 21% ; alors qu'à l'EPP de 2013, 53% (n = 116/219) ont répondu "toujours" et 18% (n = 39/219) "presque toujours". Autres précisions apportées par l'EPP, la traçabilité s'effectuait prioritairement dans les transmissions ciblées (54%) et dans les documents "administration du médicament" (43%)(118). Le déploiement d'un nouveau logiciel informatique dans les services du CHU depuis 2014 a permis la dématérialisation du dossier médical du patient, pour autant, plusieurs soignants nous ont signalé des difficultés pour tracer l'utilisation des gaz médicaux.

Le délai de 3 minutes avant de débiter l'administration est suivi systématiquement pour 60,9% des soignants ou souvent pour 29,7% ; des résultats similaires ont été obtenus à l'EPP de 2013, puisque 64% ont répondu "toujours" et 25% "presque toujours". Ou encore les administrations qui ne dépassent jamais les 60 minutes en continu ou les 15 jours consécutifs sur une même personne pour respectivement 72% et 46,2% de nos réponses ; alors qu'à l'EPP on obtenait respectivement 98% (n = 218/222) et 91% (n = 163/179)(118).

Nous avons aussi posé la question des associations médicamenteuses avec le MEOPA, ce qui se fait fréquemment, 12,1% des soignants déclarent le faire systématiquement, souvent pour 38,1%, parfois pour 36,3% ou jamais pour 5,7% ; des résultats similaires ont été obtenus à l'EPP de 2013, 43% ont répondu

“souvent”, 37% “parfois” et 20% “jamais”. Il s’agit essentiellement de paliers 1, d’anesthésiques locaux ou d’opioïdes ; des résultats similaires ont été obtenus à l’EPP, puisqu’il s’agissait le plus souvent d’opioïdes forts (42%, n = 70/165), faibles (41%, n = 67/165), mais aussi des anxiolytiques (34%, n = 56/165) ou d’autres associations (38%, n = 62/165)(118).

Quant aux approches non médicamenteuses, elles sont moins utilisées mais pas rares pour autant : 56,8% déclarent employer l’hypnose de rarement à systématiquement, 62% pour la musique et 52% pour d’autres approches. Enfin, 34,4% de nos répondants, et 51,3% de ceux qui travaillent en pédiatrie, déclarent connaître une ou plusieurs alternatives thérapeutiques à l’utilisation de MEOPA. En ce qui concerne ces dernières, il s’agit essentiellement d’approches psycho-corporelles comme l’hypnose conversationnelle, la relaxation, la méditation ou encore la distraction par le jeu.

Jamais		Rarement		Parfois		Souvent		Toujours	
N (343)									
N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Prescription médicale									
39	11,5%	51	15,0%	45	13,3%	75	22,1%	129	38,1%
Dossier patient									
48	14,6%	77	23,5%	51	15,5%	69	21,0%	83	25,3%
Délai de 3 min									
5	1,5%	14	4,1%	13	3,8%	102	29,7%	209	60,9%
Administrations > 60 min									
247	72,0%	69	20,1%	22	6,4%	3	0,9%	2	0,6%
Administrations > 15 j									
140	46,2%	79	26,1%	61	20,1%	17	5,6%	6	2,0%
Association médicamenteuse									
19	5,7%	26	7,9%	120	36,3%	126	38,1%	40	12,1%
Anxiolytiques									
131	43,1%	63	20,7%	78	25,7%	29	9,5%	3	1,0%
Midazolam									
121	39,3%	59	19,2%	77	25,0%	48	15,6%	3	1,0%
Paliers 1									
32	10,1%	21	6,6%	82	25,8%	136	42,8%	47	14,8%
Opioïdes faibles									
78	25,5%	50	16,3%	103	33,7%	69	22,5%	6	2,0%
Opioïdes forts									
76	24,4%	31	9,9%	107	34,3%	86	27,6%	12	3,8%
Anesthésique local									
68	21,4%	42	13,2%	86	27,0%	94	29,6%	28	8,8%
Kétamine									
206	67,3%	41	13,4%	40	13,1%	19	6,2%	0	
Hypnose									
140	43,2%	50	15,4%	89	27,5%	42	13,0%	3	0,9%
Musique									
126	38,1%	32	9,7%	78	23,6%	85	25,7%	10	3,0%
Autres techniques non médicamenteuses									
127	47,9%	30	11,3%	47	17,7%	45	17,0%	16	6,0%

Tableau 28 : Associations médicamenteuses et alternatives au MEOPA.

Aide à la lecture : l'effectif total est indiqué entre parenthèses (N) et les pourcentages affichés sont calculés par lignes. La somme des effectifs d'une ligne est inférieure à l'effectif total car les personnes ayant indiqué "je ne sais pas" n'ont pas été comptabilisées.

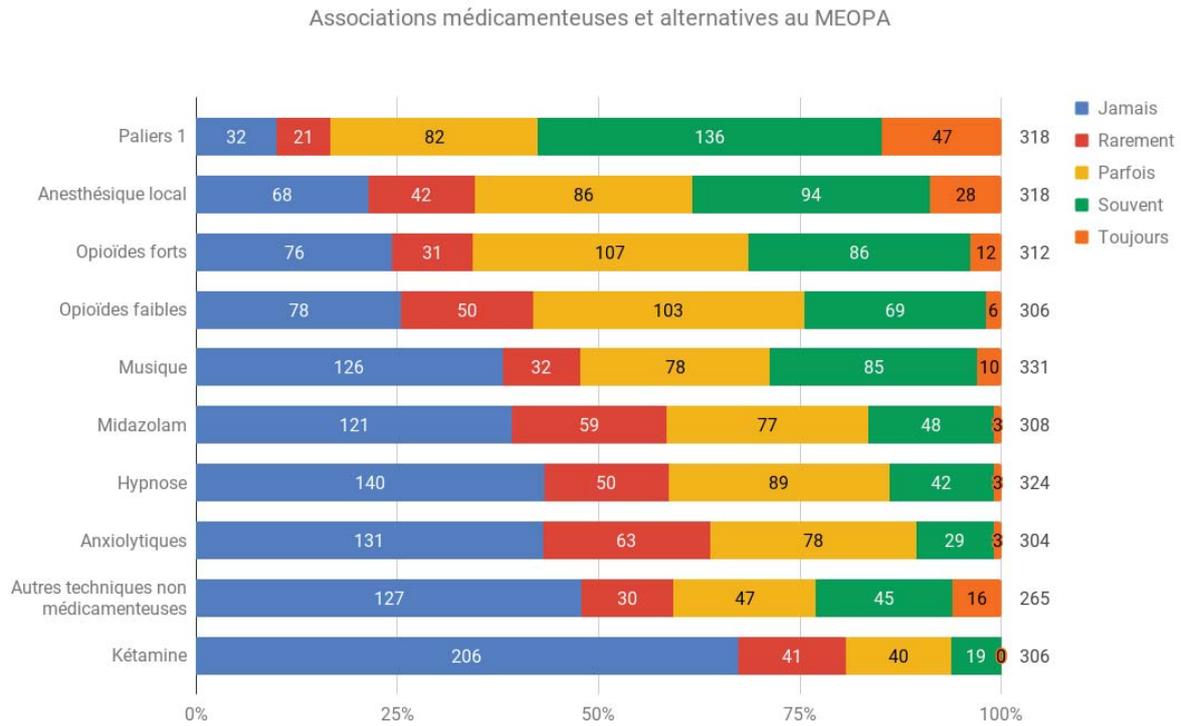


Figure 46 : Associations médicamenteuses et alternatives au MEOPA.

4. DISCUSSION

L'utilisation du protoxyde d'azote est en augmentation depuis plusieurs années, que ce soit dans le milieu hospitalier ou en libéral. Et les soignants qui se plaignent de symptômes en l'utilisant ne sont pas rares. Mais les avis sont partagés. Tandis que les uns se posent des questions sur les risques qu'ils encourent lors de son utilisation, les autres ne semblent pas s'en inquiéter. En effet, tous les soignants ne sont pas logés à la même enseigne. D'un côté il y a ceux qui administrent régulièrement, dans les services gros consommateurs comme en pédiatrie, et qui se posent souvent des questions, et de l'autre ceux qui le font occasionnellement, rarement, voire jamais. Mais s'il y a bien quelque chose que l'on retrouve constamment, quel que soit le service, c'est le bien-être et le confort du patient que les soignants placent au premier rang de leurs priorités.

Pour autant, chacun d'eux sera amené, à un moment ou un autre de son exercice professionnel, à rencontrer son utilisation : qu'il soit à la tête du patient à tenir le masque, à faire le pansement ou la prise de sang, ou tout simplement de passage dans la pièce, le MEOPA est bel et bien présent. Et peu d'éléments trahissent ce risque, invisible, comme inexistant. Certains nous diront qu'ils reconnaissent une odeur, l'impression d'une saveur sucrée en bouche, et pour d'autres ce seront des symptômes gênants, des maux de tête, des bouffées de chaleur, des vertiges ou des nausées pour les plus fréquents. Mais sommes-nous face à des signes révélateurs d'une exposition au protoxyde d'azote ou l'origine doit être recherchée ailleurs ?

Aux symptômes, il n'est pas possible de répondre individuellement avec certitude, bien que de nombreuses manifestations, dont celles retrouvées par notre questionnaire, soient décrites comme des effets secondaires possibles du protoxyde d'azote. En revanche, à l'échelle d'une population, il est possible de rechercher statistiquement la surexpression d'un signe dans un groupe par rapport à un autre. C'est ce que nous avons fait avec les symptômes les plus fréquents dans notre population. Ainsi, les aides-soignantes, les auxiliaires de puériculture et les infirmières semblent plus à risque de présenter au moins un symptôme rythmé par les administrations de MEOPA. Ce risque est aussi retrouvé chez le personnel soignant administrant plus de 5 fois par semaine ou travaillant dans un service consommant plus de 200 obus par an. Cependant, nous n'avons pas mis en évidence de relations significatives entre d'éventuels troubles de la procréation et les expositions au MEOPA.

Nos prélèvements aux urgences pédiatriques sont revenus bien au-dessus des recommandations françaises, jusqu'à 16,7 et 55 fois la valeur recommandée pour les taux pondérés sur 8 heures et 15 minutes. Même constat avec des taux pondérés sur 8 heures et 15 minutes respectivement jusqu'à 10,8 et 28,4 fois la valeur recommandée chez les brûlés adultes, et jusqu'à 3,9 et 3,4 fois la valeur recommandée en réanimation chirurgicale. Mais ces dépassements ne concernent que 7 soignants sur 12, 3 d'entre eux s'occupaient de l'administration et leurs taux d'exposition sont à chaque fois supérieurs aux autres soignants. Nous le voyons bien, dans ces 2 exemples, nos soignants sont exposés à des concentrations excessives de MEOPA, et a fortiori lorsqu'ils administrent. Mais comment les expliquer ?

En termes d'exposition, il y'a autant de situations différentes qu'il y'a de locaux. A la lumière de nos prélèvements et de la littérature, 2 éléments sortent du lot pour expliquer des taux d'exposition élevés : le confinement dans des locaux insuffisamment ventilés et la présence de fuites sur le circuit du gaz. D'ailleurs, si cela ne se voit pas, il existe des vidéos sur Internet qui simulent la diffusion d'un gaz médical en le remplaçant par de la vapeur d'eau. Quand nous parlons de confinement, il s'agit de savoir si la pièce où le gaz est administré, est équipée d'une fenêtre, d'une ventilation mécanique ou naturelle, et sur quel espace donne la porte d'entrée. Mais la présence d'une fenêtre, d'une porte ou d'une ventilation ne fait pas tout. On vous dira qu'ouvrir une fenêtre n'est pas possible en hiver, ce qui n'est guère surprenant, ou que l'on préfère laisser une porte fermée pour préserver l'intimité du soin. De même, une ventilation aussi efficace

soit-elle, ne réduira pas suffisamment l'exposition en cas de fuites. Elles viennent essentiellement de l'application d'un masque sur le visage du patient sans être complètement hermétique, lorsqu'il est relevé pour attendre une réponse ou lorsque le patient s'agite. Mais dans ce dernier cas de figure, l'utilisation de MEOPA est-elle la meilleure méthode d'analgésie ? Et que dire de la formation ? Et de façon plus large, peut-on proposer des mesures de prévention collectives et/ou individuelles ?

Autant de questions dont les réponses ne peuvent venir que d'un travail pluridisciplinaire entre les différents acteurs du groupe "risque chimique", les préventeurs de la santé au travail, dont font partie les médecins du travail et les ingénieurs de la CARSAT, les médecins de la douleur du CLUD-SP et les membres du CRPV et CEIP. Mais ce travail ne pourra pas se faire sans le personnel des services, il n'est pas envisageable de réfléchir et proposer des améliorations de leurs conditions de travail sans prendre en compte leur pratique quotidienne.

Tout d'abord, il convient d'étudier le poste et l'organisation des soins. C'est avec ces informations qu'il est possible de définir ce qui relève du possible en termes de prévention. Combien de locaux sont utilisés, quels sont les soignants qui assurent les administrations et à quelle fréquence ? Les réponses à ces questions peuvent être apportées par une étude de poste. En toute logique, il paraît judicieux d'assurer les administrations dans un espace dédié bien ventilé, ou à défaut, de "diluer" le risque en assurant les administrations dans plusieurs pièces et en répartissant les gestes entre les soignants. C'est ce qui se fait dans le service des urgences. Mais cela n'est pas toujours possible, par exemple chez les brûlés adultes où la réalisation de soins spécifiques ne peut se faire que dans un lieu unique.

Quoi qu'il en soit, que l'administration se fasse dans un ou plusieurs lieux, il apparaît nécessaire d'évaluer la ventilation. Les entrées d'air se font-elles par une bouche d'aération naturelle, une VMC, une fenêtre, une porte ? Et les sorties, par une bouche de ventilation passive, une VMC, une fenêtre, une porte ? Un ajustement entre les entrées et sorties d'air est indispensable, l'air extrait doit pouvoir être renouvelé par de l'air frais. L'ouverture d'une fenêtre ou d'une porte permet de "diluer" les éventuelles fuites de gaz dans un volume d'air plus grand. Mais dans notre étude, il en ressort que l'ouverture des fenêtres est impossible dans de nombreux services, pour des raisons médicales, comme en oncologie pédiatrique ou en hématologie stérile, ou pour d'autres raisons que nous n'avons pas pu identifier clairement (prévention du risque de défenestration ?). De leur côté, les systèmes de ventilation permettent le renouvellement de l'air d'une pièce, de quelques unités à plusieurs dizaines de volumes par heure, mais l'ajustement de ce débit n'est pas toujours possible avec les installations disponibles. La situation doit donc être étudiée au cas par cas avec l'aide des services techniques.

Et que penser du tuyau d'évacuation des gaz expirés ? Le discours des formations sur le MEOPA n'a pas toujours été homogène, son utilisation étant recommandée par les uns, et pas par les autres. Mais depuis 2017, le CLUD-SP assure seul les formations semestrielles et préconise son emploi. C'est aussi ce que l'on peut retenir de la littérature. S'il ne permet pas d'assurer une administration sécurisée à lui seul, il assure malgré tout l'évacuation d'une partie des gaz expirés, l'autre partie venant des fuites à l'application du masque. Et plus que le tuyau d'évacuation, c'est vers quoi on le dirige dont il faut tenir compte. Ainsi, il est possible de brancher le tuyau d'évacuation à une grille de ventilation ou à une prise SEGA. À défaut, il peut être placé dans le couloir, et si certains soignants sont réticents, ne voyant pas l'utilité de déplacer le problème, ce qui est juste si l'on souhaite limiter la diffusion du risque, il apparaît logique qu'une petite quantité de gaz diluée dans un volume d'air plus grand sera rapidement éliminée. Si nous n'avons pas retrouvé d'éléments pertinents pour statuer sur son utilité dans les résultats des prélèvements et du questionnaire, il nous semble raisonnable d'encourager son utilisation en plaçant sa sortie au plus loin des soignants.

Pour les services dont l'administration se fait ou peut se faire uniquement ou presque exclusivement dans une pièce, l'installation d'une prise SEGA ou d'une colonne d'aspiration est à conseiller. Et mieux encore, l'utilisation d'un dispositif déporté d'aspiration à la source ou d'un masque double enveloppe, permettrait de récupérer les fuites de gaz en se positionnant entre la source d'émission et les soignants. L'enquête de l'INRS sur la base de données COLCHIC montre des résultats intéressants pour les SEGA et les VMC, mais ils ne permettent pas de rester en-deçà des valeurs recommandées. Mais les résultats semblent plus prometteurs pour les dispositifs d'aspiration à la source et les masques à double enveloppe.

Jusqu'à présent, nous n'avons fait qu'aborder la problématique du point de vue de la ventilation des locaux et de la récupération des gaz expirés. En complément, il est aussi possible de réduire la quantité de gaz consommé, et par conséquent les expositions : c'est le principe de la valve à la demande. À ce sujet, une étude de 2004 avait montré des taux d'exposition réduits à son utilisation en comparaison d'une valve simple. Même constat en s'appuyant sur les données COLCHIC. Facile d'utilisation, ce dispositif ne nécessite aucun aménagement en dehors de la compatibilité du matériel. C'est donc un moyen de prévention à proposer en complément des éléments abordés précédemment. Mais il est certain qu'il ne conviendra pas à toutes les pratiques, en particulier pour les soins chez les enfants et adultes handicapés ou chez des patients peu coopérants. C'est une des approches que le groupe "risque chimique" se propose de mettre en place dans les services les plus consommateurs, et des prélèvements atmosphériques à distance de leur utilisation devraient nous permettre d'évaluer le bénéfice apporté sur les niveaux d'expositions.

Au vu du faible nombre de soignants se déclarant formés, l'amélioration de ce programme semble être une bonne approche de prévention, et même le préalable à toute utilisation du MEOPA. Dans la continuité des démarches entreprises par le CLUD-SP depuis la dernière évaluation des pratiques professionnelles de 2013 sur le MEOPA, la révision pluridisciplinaire du contenu de la formation et la mise à jour des protocoles d'administration diffusés auprès des correspondants douleur et sur l'Intranet du CHU, nous permettraient de mieux sensibiliser les soignants sur leur exposition et de préciser les bonnes pratiques permettant de réduire les fuites de gaz. Cela pourrait être l'occasion d'aborder des pratiques encore peu suivies, comme l'utilisation d'un débit adapté à la respiration du patient ou la fermeture de la bouteille avant le retrait du masque. Un temps devra être pris entre le service de santé au travail, l'équipe douleur et ses correspondants pour discuter de ces différents points. Il est également souhaitable d'assurer des restitutions des résultats de l'étude et de discuter des perspectives d'amélioration avec l'encadrement et les équipes des services les plus consommateurs.

Les résultats de notre questionnaire soulèvent aussi la question de la prescription médicale du protoxyde d'azote. Alors qu'elle est obligatoire, sauf dans le cas d'un protocole de service établi au préalable, elle n'est déclarée comme systématique que par un tiers des participants. Une partie des utilisations échappe donc au regard médical. Mais pourquoi retrouve-t-on un tel résultat ? Efficacité, rapidité d'action sont certainement des explications mais notre enquête n'a pas abordé précisément cette dimension. Si l'on retrouve des articles qui discutent de l'utilité du protoxyde d'azote dans le milieu médical, cette question reste limitée à l'anesthésie. Il n'y a pas lieu ici de remettre en question son utilité dans les services de soins, mais plutôt de se poser la question de l'utilisation de ce gaz dans la prise en charge globale de la douleur. S'il rend de grands services, existe-t-il des alternatives à son utilisation ? La réponse est oui. Antalgiques oraux, Pentrox (méthoxyflurane en inhalateur disponible en France depuis février 2017, utilisable que chez l'adulte), hypnose, distraction et solution sucrée chez l'enfant. La liste est longue. D'ailleurs, un tiers des participants et jusqu'à la moitié des services de pédiatrie en connaît au moins une. Mais est-ce suffisant ? Probablement pas, et voilà un autre sujet qui pourrait être développé lors des formations à l'utilisation du MEOPA.

Au final, quels conseils pouvons-nous apporter au médecin du travail qui se pose la question des risques pour les soignants dont il a la charge ? Tout d'abord, il est nécessaire de cartographier le risque, en identifiant les services concernés, à l'aide de la pharmacie par exemple, en déterminant la consommation annuelle, la fréquence d'utilisation et les lieux d'administration. On peut retenir qu'un service consomme quotidiennement du MEOPA si sa consommation annuelle tourne aux alentours de 150 à 200 litres. Et comme l'analyse statistique de nos répondants le suggère, il semble que ce soit un facteur de risque à la survenue de symptômes.

Et que faire dans la pratique courante d'une visite médicale ? Tout d'abord, ce sera l'occasion de sensibiliser sur les risques liés à la manipulation du MEOPA et la nécessité de suivre les mesures de prévention. Sinon, nous pouvons conseiller de réaliser un examen clinique à la recherche des principaux effets du protoxyde d'azote, mais aussi des signes d'une carence en vitamine B12 et B9, puis d'informer et de rassurer sur les symptômes aigus, qui bien que fréquents et visibles, régressent dès l'arrêt de l'exposition.

Nous conseillons également de rechercher des difficultés de conception, et si de telles difficultés étaient retrouvées, d'orienter vers une consultation spécialisée. Le personnel féminin pourra aussi être informé sur l'utilité de déclarer la grossesse à l'employeur, et d'informer le médecin du travail de façon à éviter les situations à risque. En effet, chez les femmes enceintes et en désir de grossesse, en l'absence de données scientifiques tangibles, y compris dans nos résultats, le principe de précaution prévaut. Dans des services de soins faiblement consommateurs, il est souhaitable qu'elles puissent déléguer les tâches d'administration, alors qu'en cas d'expositions importantes et régulières, elles devront être éloignées de toute exposition. A ce sujet, l'INRS recommande pour les femmes enceintes et allaitantes, des niveaux d'exposition inférieurs à 1/100 de la NOAEL, soit 5 ppm, et en l'absence d'information précise sur l'exposition, de ne pas les exposer.

Cet examen pourra être complété d'un bilan biologique comportant une NFS et plaquettes, éventuellement accompagnée d'un bilan hépatique et rénal de référence. Un dosage de la vitamine B12 et des folates pourra s'envisager en cas d'expositions prolongées et/ou répétées au MEOPA ou chez un sujet à risque de carence. Et en cas de doute sur le résultat de la vitamine B12, on pourra compléter le bilan par un dosage de l'acide méthylmalonique, marqueur sensible et précoce d'une carence en vitamine B12, éventuellement accompagné de l'homocystéine totale, sensible à la vitamine B12 et aux folates. La fréquence de la visite et l'indication à répéter les examens complémentaires pourront être laissées à la libre appréciation du médecin du travail, après l'évaluation clinique et l'appréciation du risque.

Enfin, il est utile de rappeler que les effets indésirables suspectés d'être dus au MEOPA chez le patient, mais aussi chez le soignant, doivent être déclarés au CRPV, ainsi que les cas d'abus et de pharmacodépendance graves au CEIP. Dans le cas d'une erreur médicamenteuse n'ayant pas entraîné d'effet indésirable, elle peut être déclarée au guichet des erreurs médicamenteuses de l'ANSM. De plus, il est possible de signaler institutionnellement un événement indésirable par l'intermédiaire d'une Fiche de signalement d'Événement Indésirable (FEI), ce qui participe à l'amélioration de la qualité et la sécurité des soins.

5. CONCLUSION

Notre étude, nous a permis de cartographier le risque lié à l'utilisation du MEOPA au CHU de Nantes, et d'identifier les services les plus consommateurs vers lesquels orienter nos prélèvements et nos actions. Ainsi, nous avons réalisé des prélèvements atmosphériques et des études de poste dans 3 services différents : les urgences pédiatriques, 1er consommateur de MEOPA pour une consommation annuelle moyenne de 2106,25 litres ; les brûlés adultes, 9ème consommateur avec 210 litres, en raison de symptômes déclarés par les soignants et pour des conditions d'administration propres à la balnéothérapie ; et la réanimation chirurgicale et brûlés, 41ème consommateur avec 30 litres. Nous avons suivi au cours de 3 journées, 12 soignants sur l'ensemble de leur poste, et réalisés nos prélèvements autour de 8 gestes différents sous MEOPA.

Nos résultats atmosphériques sont revenus bien au-dessus des valeurs recommandées françaises. Aux urgences pédiatriques, les taux pondérés sur 8 heures vont jusqu'à 16,7 fois la valeur recommandée de 25 ppm contre 55 fois la valeur recommandée de 125 ppm pour les courtes durées d'exposition. Chez les brûlés adultes et en réanimation chirurgicale, les taux pondérés sur 8 heures vont respectivement jusqu'à 10,8 et 3,9 fois la valeur recommandée contre 28,4 et 3,4 fois pour les courtes durées d'exposition. Cependant, ces dépassements ne concernent que 7 soignants, 3 d'entre eux s'occupaient de l'administration et leurs taux d'exposition sont à chaque fois supérieurs aux autres soignants. Si ces résultats vont dans le sens des données de la littérature, nos résultats semblent relativement plus élevés que ceux des dernières études faites dans des CHU. On peut expliquer la surexposition des soignants par l'intervention de plusieurs facteurs, la consommation importante de MEOPA, le confinement dans des locaux insuffisamment ventilés, des boxes aux urgences ou dans une salle de balnéothérapie chez les brûlés, la durée et les conditions thermiques d'administration en balnéothérapie, et la présence de fuites lors de l'agitation du patient par exemple.

Pour le questionnaire, 44,9% des répondants exposés (343 soignants) ont déclaré au moins un symptôme rythmé par les administrations de MEOPA. Les symptômes les plus rapportés sont les céphalées, les bouffées de chaleur, les vertiges et les nausées et vomissements. Et d'après nos analyses, les aides-soignantes, les auxiliaires de puériculture, les infirmières, le personnel soignant administrant plus de 5 fois par semaine ou travaillant dans un service consommant plus de 200 obus par an, semblent plus à risque de présenter des symptômes. En revanche, nous n'avons pas mis en évidence de relations significatives entre d'éventuels troubles de la procréation (troubles de la fertilité et fausses couches spontanées) et les expositions au MEOPA.

Ainsi, il semble nécessaire d'élaborer des mesures de prévention pour les services les plus consommateurs et dont les locaux utilisés ne sont pas adaptés à cette activité. La vérification périodique et l'éventuel ajustement des débits des systèmes de ventilation, l'installation d'une prise SEGA, d'une colonne d'aspiration ou mieux encore, d'un dispositif d'aspiration à la source peuvent être des pistes à suivre. Il est également possible d'utiliser une valve à la demande, dispositif simple d'utilisation, peu contraignant, et permettant de réduire la quantité de gaz consommé, et par conséquent les expositions. C'est cette dernière approche que le groupe "risque chimique" se propose de mettre en place dans les services les plus consommateurs, et des prélèvements atmosphériques à distance de leur utilisation devraient nous permettre d'évaluer le bénéfice apporté sur les niveaux d'expositions.

Le questionnaire nous a également appris que 36,2% des répondants ont bénéficié d'une formation à l'utilisation de MEOPA, et seulement 10,5% des aides-soignantes et 19,4% des auxiliaires de puériculture, alors qu'elles sont les premières exposées en administrant le gaz. La formation semble donc une bonne approche de prévention, et même le préalable à toute utilisation de MEOPA. Cette formation pourrait aussi

être l'occasion d'aborder des pratiques encore peu suivies, comme l'utilisation d'un débit adapté à la respiration du patient ou la fermeture de la bouteille avant le retrait du masque, autant de pratiques permettant de réduire les expositions.

Le médecin du travail a toute sa place dans cette situation. Il doit prendre en compte ces expositions et participer activement aux démarches de prévention, en particulier par la sensibilisation des soignants et l'élaboration de stratégies pluridisciplinaires de gestion du risque lié au MEOPA. On peut également recommander de ne pas exposer les femmes enceintes, et l'éloignement des postes à risque des femmes en désir de grossesse peut se discuter.

6. BIBLIOGRAPHIE

1. Cherif D. Les Petites histoires de la médecine. Société des Écrivains.
2. Gautier H. Utilisation de la sédation consciente par inhalation de MEOPA dans un service d'odontologie polyvalente (Étude rétrospective sur 5 ans). 2011. Disponible sur : http://docnum.univ-lorraine.fr/public/SCDPHA_TD_2011_GAUTIER_HELENE.pdf.
3. Pété-Bonneton C. Évaluation du risque lié à l'exposition au protoxyde d'azote, par l'utilisation de MEOPA, du personnel soignant pédiatrie de l'hôpital femme-mère-enfant de Lyon : Université Claude Bernard. 2015. Disponible sur : http://bibnum.univ-lyon1.fr/nuxeo/nxfile/default/c718b964-aa4c-46e2-8864-b4e1469c4a32/blobholder:0/THm_2015_PETE-BONNETON_Charlotte.pdf.
4. Smith GB, Hirsch NP. Gardner Quincy Colton : Pioneer of Nitrous Oxide Anesthesia. Anesthesia & Analgesia. Mars 1991.
5. Zimmer M. Histoire de l'anesthésie. EDP Sciences. 2012.
6. Trompette P. Le Mélange Équimolaire d'Oxygène et de Protoxyde d'Azote, de la théorie à la pratique en milieu hospitalier. 2015. Disponible sur : http://docnum.univ-lorraine.fr/public/BUPHA_T_2015_TROMPETTE_PAULINE.pdf.
7. P. Campo. Fiche toxicologique n°267 : Protoxyde d'azote. INRS. 2018. Disponible sur : http://www.inrs.fr/publications/bdd/fichetox/fiche.html?refINRS=FICHETOX_267.
8. Références en santé au travail - Protoxyde d'azote lors de l'utilisation du MEOPA en milieu de soins : toxicité, situations d'exposition, données météorologiques, pistes de prévention et rôle du médecin du travail. Disponible sur : <http://www.rst-sante-travail.fr/rst/pages-article/ArticleRST.html?ref=RST.TP%2026>.
9. INRS. Fiche DEMETER n° DEM 076 : Protoxyde d'azote. INRS. 2010. Disponible sur : <http://www.inrs.fr/dms/inrs/PDF/bdd-demeter/DEM-076/DEM%20076.pdf>.
10. Debaene B. Le protoxyde d'azote : pourquoi peut-on s'en passer ! ; 2015. Disponible sur : <https://sofia.medicalistes.fr/spip/IMG/pdf/le-n2o-a-t-il-encore-une-place-en-anesthesie-non-debaene-1442330020.pdf>.
11. Zafirova Z, Sheehan C, Hosseinian L. Update on nitrous oxide and its use in anesthesia practice. Best Pract Res Clin Anaesthesiol. Juin 2018 ; 32(2):113-23.
12. Boulland P, Favier J-C, Villeveille T, Allanic L, Plancade D, Nadaud J, et al. Mélange équimolaire oxygène–protoxyde d'azote (MEOPA). Rappels théoriques et modalités pratiques d'utilisation. Ann Fr Anesth Reanim. 13 oct 2005 ; 24(10):1305-12.
13. Smith I. Nitrous oxide in ambulatory anaesthesia : does it have a place in day surgical anaesthesia or is it just a threat for personnel and the global environment ? Curr Opin Anaesthesiol. Déc 2006 ; 19(6):592-6.
14. Noël E, Van Der Linden P. [Awareness in paediatric anaesthesia : Review of the literature]. Rev Med Brux. 2016 ; 37(6):476-82.
15. Hounsome J, Greenhalgh J, Schofield-Robinson OJ, Lewis SR, Cook TM, Smith AF. Nitrous oxide-based vs. nitrous oxide-free general anaesthesia and accidental awareness in surgical patients : an abridged Cochrane systematic review. Anaesthesia. Mars 2018 ; 73(3):365-74.
16. Ramsay DS, Leroux BG, Rothen M, Prall CW, Fiset LO, Woods SC. Nitrous oxide analgesia in humans : acute and chronic tolerance. Pain. Mars 2005 ; 114(1-2):19-28.
17. Guen ML, Baugnon T. Protoxyde d'azote. 17 mai 2010. Disponible sur : <http://www.em-consulte.com/en/article/251618>.
18. Zacny JP, Conran A, Pardo H, Coalson DW, Black M, Klock PA, et al. Effects of naloxone on nitrous oxide actions in healthy volunteers. Pain. Déc 1999 ; 83(3):411-8.
19. Annequin D. La douleur de l'enfant. Quelles réponses ? - MEOPA : mythes et réalités Toxicité et mésusage. 24èmes Journées Pédiadol. 2017. Disponible sur : <https://www.pediadol.org/IMG/pdf/ATDE-PEDIADOL%202017%20-%20Livre%20des%20actes.pdf>.
20. Emmanouil DE, Quock RM. Advances in understanding the actions of nitrous oxide. Anesth Prog. 2007 ; 54(1):9-18.

21. Meunier Y. Utilisation du mélange équimolaire oxygène protoxyde d'azote (MEOPA) en urologie : pourquoi, comment, pour qui ? Progrès en Urologie - FMC. Sept 2015 ; 25(3):F62-8. Disponible sur : <http://www.urofrance.org/fileadmin/documents/data/PF/2015/v25i3/S1761676X15000504/main.pdf>.
22. Simon N. Sédation Analgésie Procédurale chez l'adulte aux urgences. Urgences de l'Hôpital Intercommunal de Poissy Saint-Germain-en-Laye. Disponible sur : https://www.cnrdr.fr/IMG/pdf/2_N_Simon.pdf.
23. Huang C, Johnson N. Nitrous Oxide, From the Operating Room to the Emergency Department. *Curr Emerg Hosp Med Rep.* 2016 ; 4:11-8.
24. Martin HA, Noble M, Wodo N. The Benefits of Introducing the Use of Nitrous Oxide in the Pediatric Emergency Department for Painful Procedures. *J Emerg Nurs.* 2018 ; 44(4):331-5.
25. Guen ML. Le protoxyde d'azote : présent, futur. Disponible sur : <http://www.mapar.org/article/1/Communication%20MAPAR/ryjn322z/Le%20protoxyde%20d%E2%80%99azote%C2%A0:%20pr%C3%A9sent>.
26. Chaparro LE, Smith SA, Moore RA, Wiffen PJ, Gilron I. Pharmacotherapy for the prevention of chronic pain after surgery in adults. *Cochrane Database Syst Rev.* 24 juill 2013 ; (7):CD008307.
27. Turan A, Sarwar S, Atim A, Deogaonkar A, Yousef HF, Katyal S, et al. Nitrous Oxide for the Treatment of Chronic Low Back Pain. *Anesth Analg.* Nov 2015 ; 121(5):1350-9.
28. Likis FE, Andrews JC, Collins MR, Lewis RM, Seroogy JJ, Starr SA, et al. Nitrous oxide for the management of labor pain : a systematic review. *Anesth Analg.* Janv 2014 ; 118(1):153-67.
29. Richardson MG, Lopez BM, Baysinger CL, Shotwell MS, Chestnut DH. Nitrous Oxide During Labor : Maternal Satisfaction Does Not Depend Exclusively on Analgesic Effectiveness. *Anesth Analg.* 2017 ; 124(2):548-53.
30. Richardson MG, Lopez BM, Baysinger CL. Should Nitrous Oxide Be Used for Laboring Patients ? *Anesthesiol Clin.* Mars 2017 ; 35(1):125-43.
31. Sutton CD, Butwick AJ, Riley ET, Carvalho B. Nitrous oxide for labor analgesia : Utilization and predictors of conversion to neuraxial analgesia. *J Clin Anesth.* Août 2017 ; 40:40-5.
32. Zanardo V, Volpe F, Parotto M, Giiberti L, Selmin A, Straface G. Nitrous oxide labor analgesia and pain relief memory in breastfeeding women. *J Matern Fetal Neonatal Med.* 2018 ; 31(24):3243-8.
33. Pasarón R, Burnweit C, Zerpa J, Malvezzi L, Knight C, Shapiro T, et al. Nitrous oxide procedural sedation in non-fasting pediatric patients undergoing minor surgery : a 12-year experience with 1,058 patients. *Pediatr Surg Int.* Févr 2015 ; 31(2):173-80.
34. Chi SI. Complications caused by nitrous oxide in dental sedation. *J Dent Anesth Pain Med.* Avr 2018 ; 18(2):71-8.
35. Babl FE, Oakley E, Seaman C, Barnett P, Sharwood LN. High-concentration nitrous oxide for procedural sedation in children : adverse events and depth of sedation. *Pediatrics.* Mars 2008 ; 121(3):e528-532.
36. Nader ND, Simpson G, Reedy RL. Middle ear pressure changes after nitrous oxide anesthesia and its effect on postoperative nausea and vomiting. *Laryngoscope.* Mai 2004 ; 114(5):883-6.
37. Orhan-Sungur M, Apfel C, Akça O. Effects of nitrous oxide on intraoperative bowel distension. *Curr Opin Anaesthesiol.* Déc 2005 ; 18(6):620-4.
38. Annequin D, Carbajal R, Chauvin P, Gall O, Tourniaire B, Murat I. Fixed 50% nitrous oxide oxygen mixture for painful procedures : A French survey. *Pediatrics.* Avr 2000 ; 105(4):E47.
39. Onody P, Gil P, Hennequin M. Safety of inhalation of a 50% nitrous oxide/oxygen premix : a prospective survey of 35 828 administrations. *Drug Saf.* 2006 ; 29(7):633-40.
40. Lew V, McKay E, Maze M. Past, present, and future of nitrous oxide. *Br Med Bull.* 1 mars 2018 ; 125(1):103-19.

41. Zier JL, Liu M. Safety of high-concentration nitrous oxide by nasal mask for pediatric procedural sedation : experience with 7802 cases. *Pediatr Emerg Care*. Déc 2011 ; 27(12):1107-12.
42. Cohen EN, Gift HC, Brown BW, Greenfield W, Wu ML, Jones TW, et al. Occupational disease in dentistry and chronic exposure to trace anesthetic gases. *J Am Dent Assoc*. Juill 1980 ; 101(1):21-31.
43. Reiz S. Nitrous oxide augments the systemic and coronary haemodynamic effects of isoflurane in patients with ischaemic heart disease. *Acta Anaesthesiol Scand*. Déc 1983 ; 27(6):464-9.
44. Kozmary SV, Lampe GH, Benefiel D, Cahalan MK, Wauk LZ, Whitendale P, et al. No finding of increased myocardial ischemia during or after carotid endarterectomy under anesthesia with nitrous oxide. *Anesth Analg*. Déc 1990 ; 71(6):591-6.
45. Badner NH, Beattie WS, Freeman D, Spence JD. Nitrous oxide-induced increased homocysteine concentrations are associated with increased postoperative myocardial ischemia in patients undergoing carotid endarterectomy. *Anesth Analg*. Nov 2000 ; 91(5):1073-9.
46. Biehler DP. Pharmacologie du protoxyde d'azote. 2006. Disponible sur : <http://rdv-urgence.chru-strasbourg.fr/sites/default/files/documents/ru/samu2005/02/03.pdf>.
47. Bruce DL, Bach MJ. Effects of trace anaesthetic gases on behavioural performance of volunteers. *Br J Anaesth*. Sept 1976 ; 48(9):871-6.
48. Fagan D, Paul DL, Tiplady B, Scott DB. A dose-response study of the effects of inhaled nitrous oxide on psychological performance and mood. *Psychopharmacology (Berl)*. Nov 1994 ; 116(3):333-8.
49. Colavolpe J-C, François N. Exposition professionnelle au protoxyde d'azote et aux vapeurs anesthésiques. Conséquences pour la santé et l'environnement. Prévention. 2006. Disponible sur : <http://www.em-premium.com/data/traites/an/36-44727>.
50. Lucchini R, Placidi D, Toffoletto F, Alessio L. Neurotoxicity in operating room personnel working with gaseous and nongaseous anesthesia. *Int Arch Occup Environ Health*. 1996 ; 68(3):188-92.
51. Korttila K, Pfäffli P, Linnoila M, Blomgren E, Hänninen H, Häkkinen S. Operating room nurses' psychomotor and driving skills after occupational exposure to halothane and nitrous oxide. *Acta Anaesthesiol Scand*. 1978 ; 22(1):33-9.
52. Lassen HC, Henriksen E, Neukirch F, Kristensen HS. Treatment of tetanus ; severe bone-marrow depression after prolonged nitrous-oxide anaesthesia. *Lancet*. 28 avr 1956 ; 270(6922):527-30.
53. Deacon R, Lumb M, Perry J, Chanarin I, Minty B, Halsey M, et al. Inactivation of methionine synthase by nitrous oxide. *Eur J Biochem*. Mars 1980 ; 104(2):419-23.
54. Nagele P, Zeugswetter B, Wiener C, Burger H, Hüpfel M, Mittlböck M, et al. Influence of Methylenetetrahydrofolate Reductase Gene Polymorphisms on Homocysteine Concentrations after Nitrous Oxide Anesthesia. *Anesthesiol*. 1 juill 2008 ; 109(1):36-43.
55. O'Sullivan H, Jennings F, Ward K, McCann S, Scott JM, Weir DG. Human bone marrow biochemical function and megaloblastic hematopoiesis after nitrous oxide anesthesia. *Anesthesiology*. Déc 1981 ; 55(6):645-9.
56. Skacel PO, Hewlett AM, Lewis JD, Lumb M, Nunn JF, Chanarin I. Studies on the haemopoietic toxicity of nitrous oxide in man. *Br J Haematol*. Févr 1983 ; 53(2):189-200.
57. Stabler SP. Clinical practice. Vitamin B12 deficiency. *N Engl J Med*. 10 janv 2013 ; 368(2):149-60.
58. Myles PS, Chan MTV, Leslie K, Peyton P, Paech M, Forbes A. Effect of nitrous oxide on plasma homocysteine and folate in patients undergoing major surgery. *Br J Anaesth*. Juin 2008 ; 100(6):780-6.
59. Myles PS, Chan MTV, Kaye DM, McIlroy DR, Lau C-W, Symons JA, et al. Effect of nitrous oxide anesthesia on plasma homocysteine and endothelial function. *Anesthesiology*. Oct 2008 ; 109(4):657-63.
60. Nunn JF, Sharer N, Royston D, Watts RW, Purkiss P, Worth HG. Serum methionine and hepatic enzyme activity in anaesthetists exposed to nitrous oxide. *Br J Anaesth*. Juin 1982 ; 54(6):593-7.

61. Krajewski W, Kucharska M, Pilacik B, Fobker M, Stetkiewicz J, Nofer J-R, et al. Impaired vitamin B12 metabolic status in healthcare workers occupationally exposed to nitrous oxide. *Br J Anaesth*. Déc 2007 ; 99(6):812-8.
62. Amos RJ, Amess JA, Nancekiveill DG, Rees GM. Prevention of nitrous oxide-induced megaloblastic changes in bone marrow using folic acid. *Br J Anaesth*. Févr 1984 ; 56(2):103-7.
63. Selzer RR, Rosenblatt DS, Laxova R, Hogan K. Adverse Effect of Nitrous Oxide in a Child with 5,10-Methylenetetrahydrofolate Reductase Deficiency. *New England Journal of Medicine*. 3 juill 2003 ; 349(1):45-50.
64. Desprairies C, Benkerrou M, Imbard A, Pichard S, Lorrot M, Gaumetou E, et al. SFP CO-07 - Trop de MEOPA : pas si hilarant. 25 juill 2014. Disponible sur : <http://www.em-premium.com/data/revues/0929693X/v21i5sS1/S0929693X14719207>.
65. Myles PS, Leslie K, Chan MTV, Forbes A, Paech MJ, Peyton P, et al. Avoidance of nitrous oxide for patients undergoing major surgery : a randomized controlled trial. *Anesthesiology*. Août 2007 ; 107(2):221-31.
66. Leslie K, Myles PS, Chan MTV, Forbes A, Paech MJ, Peyton P, et al. Nitrous oxide and long-term morbidity and mortality in the ENIGMA trial. *Anesth Analg*. Févr 2011 ; 112(2):387-93.
67. Diamond AL, Diamond R, Freedman SM, Thomas FP. « Whippets »-induced cobalamin deficiency manifesting as cervical myelopathy. *J Neuroimaging*. Juill 2004 ; 14(3):277-80.
68. Brodsky JB, Cohen EN, Brown BW, Wu ML, Whitcher CE. Exposure to nitrous oxide and neurologic disease among dental professionals. *Anesth Analg*. Mai 1981 ; 60(5):297-301.
69. Denis M-A, Cadot R, Bergeret A. Exposition du personnel soignant au protoxyde d'azote. *Archives des Maladies Professionnelles et de l'Environnement*. 20 sept 2016 ; 77(4):640-9.
70. Knill-Jones RP, Newman BJ, Spence AA. Anesthetic practice and pregnancy. Controlled survey of male anaesthetists in the United Kingdom. *Lancet*. 25 oct 1975 ; 2(7939):807-9.
71. Spence AA, Cohen EN, Brown BW, Knill-Jones RP, Himmelberger DU. Occupational hazards for operating room-based physicians. Analysis of data from the United States and the United Kingdom. *JAMA*. 29 août 1977 ; 238(9):955-9.
72. Buring JE, Hennekens CH, Mayrent SL, Rosner B, Greenberg ER, Colton T. Health experiences of operating room personnel. *Anesthesiology*. Mars 1985 ; 62(3):325-30.
73. Tannenbaum TN, Goldberg RJ. Exposure to anesthetic gases and reproductive outcome. A review of the epidemiologic literature. *J Occup Med*. Sept 1985 ; 27(9):659-68.
74. Spence AA. Environmental pollution by inhalation anaesthetics. *Br J Anaesth*. Janv 1987 ; 59(1):96-103.
75. Rowland AS, Baird DD, Weinberg CR, Shore DL, Shy CM, Wilcox AJ. Reduced fertility among women employed as dental assistants exposed to high levels of nitrous oxide. *N Engl J Med*. 1 oct 1992 ; 327(14):993-7.
76. Rowland AS, Baird DD, Shore DL, Weinberg CR, Savitz DA, Wilcox AJ. Nitrous oxide and spontaneous abortion in female dental assistants. *Am J Epidemiol*. 15 mars 1995 ; 141(6):531-8.
77. Ahlborg G, Axelsson G, Bodin L. Shift work, nitrous oxide exposure and subfertility among Swedish midwives. *Int J Epidemiol*. Août 1996 ; 25(4):783-90.
78. Axelsson G, Ahlborg G, Bodin L. Shift work, nitrous oxide exposure, and spontaneous abortion among Swedish midwives. *Occup Environ Med*. Juin 1996 ; 53(6):374-8.
79. Shirangi A, Fritschi L, Holman CDJ. Maternal occupational exposures and risk of spontaneous abortion in veterinary practice. *Occup Environ Med*. Nov 2008 ; 65(11):719-25.
80. Teschke K, Abanto Z, Arbour L, Beking K, Chow Y, Gallagher RP, et al. Exposure to anesthetic gases and congenital anomalies in offspring of female registered nurses. *Am J Ind Med*. Févr 2011 ; 54(2):118-27.

81. Vieira E, Cleaton-Jones P, Moyes D. Effects of low intermittent concentrations of nitrous oxide on the developing rat fetus. *Br J Anaesth.* Janv 1983 ; 55(1):67-9.
82. Holson RR, Bates HK, LaBorde JB, Hansen DK. Behavioral teratology and dominant lethal evaluation of nitrous oxide exposure in rats. *Neurotoxicol Teratol.* Oct 1995 ; 17(5):583-92.
83. Zhang Q, Rosenberg M, Kugel G, Agarwal RK, Phillips J, Kumar MSA. Effect of nitrous oxide on intracellular events of GT1-7 GnRH-secreting neurons. *Anesth Prog.* 2003 ; 50(2):53-61.
84. Rügger M, Jost M. Conditions de travail lors d'exposition aux gaz anesthésiques. 1998. Disponible sur : www.sohf.ch/Themes/Operation/2869_29_F.pdf.
85. Rooks JP. Safety and risks of nitrous oxide labor analgesia : a review. *J Midwifery Womens Health.* Déc 2011 ; 56(6):557-65.
86. Mazze RI, Källén B. Appendectomy during pregnancy : a Swedish registry study of 778 cases. *Obstet Gynecol.* Juin 1991 ; 77(6):835-40.
87. Mazze RI, Källén B. Reproductive outcome after anesthesia and operation during pregnancy : a registry study of 5405 cases. *Am J Obstet Gynecol.* Nov 1989 ; 161(5):1178-85.
88. Cottin J. Fiche Technique de Pharmacovigilance - Anesthésie chez la femme en début de grossesse, ou qui allaite : quel est le risque ? Vigitox. Mai 2014. Disponible sur : https://www.rfcrpv.fr/wp-content/uploads/2018/04/VIGINIEWS_2018_06_n2-BAT.pdf.
89. Elefant E. Médicaments et grossesse. CRAT ; 2013. Disponible sur : <http://docplayer.fr/36711772-Medicaments-et-grossesse.html>.
90. Neil HA, Fairer JG, Coleman MP, Thurston A, Vessey MP. Mortality among male anaesthetists in the United Kingdom, 1957-83. *Br Med J (Clin Res Ed).* 8 août 1987 ; 295(6594):360-2.
91. Guirguis SS, Pelmeur PL, Roy ML, Wong L. Health effects associated with exposure to anaesthetic gases in Ontario hospital personnel. *Br J Ind Med.* Juill 1990 ; 47(7):490-7.
92. Coate WB, Ulland BM, Lewis TR. Chronic exposure to low concentrations of halothane-nitrous oxide : lack of carcinogenic effect in the rat. *Anesthesiology.* Avr 1979 ; 50(4):306-9.
93. Baden JM, Kundomal YR, Luttrupp ME, Mazze RI, Kosek JC. Carcinogen Bioassay of Nitrous Oxide in Mice. *Anesthes.* 1 juin 1986 ; 64(6):747-50.
94. Schneemilch CE, Hachenberg T, Ansorge S, Ittenson A, Bank U. Effects of different anaesthetic agents on immune cell function in vitro. *Eur J Anaesthesiol.* Août 2005 ; 22(8):616-23.
95. Chen Y, Liu X, Cheng CHK, Gin T, Leslie K, Myles P, et al. Leukocyte DNA damage and wound infection after nitrous oxide administration : a randomized controlled trial. *Anesthesiology.* Juin 2013 ; 118(6):1322-31.
96. O'Donovan MR, Hammond TG. Is nitrous oxide a genotoxic carcinogen ? *Mutagenesis.* Juill 2015 ; 30(4):459-62.
97. Solmaz FA, Can ÖS, Kadioglu E, Sardas S, Ozatamer O. Effects of using sevoflurane with nitrous oxide and remifentanyl on DNA damage. *Acta Med Mediterr.* 19 mai 2014 ; (30):775-83.
98. Morgana V. MEOPA... ou pas ? Bas les masques ! 2015. Disponible sur : <https://www.sparadrap.org/content/download/101998/1178709/version/1/file/TFE%20%20-%20NI.pdf>.
99. Vella P. Comité Technique du CEIP du 17 novembre 2016. Direction des Médicaments, ANSM. 17 novembre 2016. Disponible sur : https://ansm.sante.fr/var/ansm_site/storage/original/application/e0ad6a37715f9e67252b49c91dd34fca.pdf.
100. Viginews. Cas clinique - Risque de confusion entre bouteilles de MEOPA et oxygène. Viginews - Bulletin commun des Centres Régionaux de Pharmacovigilance d'Angers et de Nantes. Juin 2018. Disponible sur : https://www.rfcrpv.fr/wp-content/uploads/2018/04/VIGINIEWS_2018_06_n2-BAT.pdf.

101. ANSM. Changement de couleur des bouteilles de gaz. 2012. Disponible sur : https://ansm.sante.fr/var/ansm_site/.../ef43ef4264f9a1e6ed0f62c5423dc9af.pdf.
102. Tu HN, Saidi N, Leiutaud T, Bensaid S, Menival V, Duvaldestin P. Nitrous oxide increases endotracheal cuff pressure and the incidence of tracheal lesions in anesthetized patients. *Anesth Analg*. Juill 1999 ; 89(1):187-90.
103. Segura L. L'analgésie ça se respire ! Formation à l'utilisation du MEOPA. CHU de Nîmes ; 2016. Disponible sur : https://docplayer.fr/storage/55/36163042/1536529135/c_-tg2OguVHCpf8_FRM4pg/36163042.pdf.
104. Coyo C. MEOPA et douleur : « un vieux gaz qui a de l'avenir ». 15^{ème} Colloque A.B.C.P.H - Traitement de la Douleur ; 2015. Disponible sur : <https://docplayer.fr/storage/40/21555549/1536529240/eduvC2yMv2INXlh0Aj0dSA/21555549.pdf>.
105. ANSES. Les valeurs limites d'exposition professionnelle ou VLEP. 2016. Disponible sur : <https://www.anses.fr/fr/system/files/PlaqueVLEP.pdf>.
106. Garnier R. Gaz anesthésiques et grossesse. 17 avr 2018. Disponible sur : <http://www.em-premium.com/data/revues/17758785/v79i2/S1775878517303077>.
107. Lafon D. Recommandations et guides pour les médecins du travail dans le cadre de la surveillance liée à l'exposition aux reprotoxiques. *Archives des Maladies Professionnelles et de l'Environnement*. Mai 2008 ; 69(2):268-71.
108. Chapuis C, Guerquin L, Albaladejo P. Les médicaments utilisés en anesthésie sont-ils vraiment des polluants majeurs ? *Le Praticien en anesthésie réanimation*. Sept 2016 ; 20(4):184-7.
109. Bresson B. Qualité de l'air au bloc opératoire. 54^{ème} journées d'études et de formation IHF ; 2013. Disponible sur : https://www.journees-ihf.com/Media/slides/2014/20140612/A2_20140612_0830_1_BRESSON_wmk.pdf.
110. Patriarche & co. Conformité technique d'un bloc opératoire : La Qualité de l'Air, Données de base, Maîtrise, Contrôle. Hopitech Deauville ; 2010. Disponible sur : http://docplayer.fr/storage/25/4666790/1536527783/ecNRiQwFINv_gJfQomu9_g/4666790.pdf.
111. CHU de Nantes. CHU de Nantes : Rapport d'activité 2017. 2017. Disponible sur : https://www.chu-nantes.fr/medias/fichier/rapport-d-activit-2017-chu-de-nantes-compressed_1537265384392.pdf.
112. INRS. MétroPol - Protoxyde d'azote M-415. 2017. Disponible sur : http://www.inrs.fr/dms/metropol/FicheMetropol/METROPOL_415-2/FicheMetropol-METROPOL_415.pdf.
113. INRS. MétroPol - Protoxyde d'azote M-416. 2017. Disponible sur : http://www.inrs.fr/dms/metropol/FicheMetropol/METROPOL_416-1/FicheMetropol-METROPOL_416.pdf.
114. Guillemot M. Développement et évaluation d'un solide adsorbant pour le prélèvement passif du protoxyde d'azote. INRS ; 2016. Disponible sur : <http://www.inrs.fr/dms/inrs/PDF/Agenda/prelevement-passif/7-M.GUILLEMOT.pdf/7-M.GUILLEMOT.pdf>.
115. E. Langlois, C. Hecht, D. Rousset. MétroPol - Principe général et mise en œuvre pratique du prélèvement. INRS ; 2015. Disponible sur : www.inrs.fr/dms/inrs/PDF/...prelevement-principe/metropol-prelevement-principe.pdf.
116. INRS. Principes généraux de ventilation. INRS ; 2015. Disponible sur : <http://www.inrs.fr/dms/inrs/CataloguePapier/ED/TI-ED-695/ed695.pdf>.
117. Pichelin M, Billoet C, Caillibotte G. Modelling levels of nitrous oxide exposure for healthcare professionals during EMONO usage. *Ann Occup Environ Med*. 2016 ; 28:30.
118. Victorri-Vigneau C, Paille C, Joyau C, Veyrac G, Cosset C, Le Pelletier A, et al. Pratiques d'utilisation du MEOPA dans un CHU : quelle conformité ? *Thérapie*. 26 déc 2017 ; 72(6):659-63.
119. Redant S, Stern N, Haggemacher C, Biarent D. P-218 – MEOPA : avec ou sans valve ? Étude préliminaire. 23 juin 2015. Disponible sur : <http://www.em-premium.com/data/revues/0929693X/v22i5s1/S0929693X15303985>.
120. Hennequin M, Onody P. Pollution lors de la sédation par inhalation d'un mélange équimolaire de N₂O/O₂ : comparaison de deux systèmes d'administration. *Annales Françaises d'Anesthésie et de Réanimation*. 1 oct 2004 ; 23(10):959-65.

121. Legaigoux T. Le Mélange Équimolaire Oxygène / Protoxyde d'Azote (MEOPA) : étude sur son utilisation dans les cabinets dentaires.
122. Zotti Massimiliano. Il protossido di azoto in sala parto. Disponible sur : <http://www.airnova.it/wp-content/uploads/2014/06/La-PartoAnalgesia.pdf>.
123. Schuyt HC, Verberk MM. Measurement and reduction of nitrous oxide in operating rooms. *J Occup Environ Med.* Oct 1996 ; 38(10):1036-40.
124. Chessor E, Verhoeven M, Hon C-Y, Teschke K. Evaluation of a modified scavenging system to reduce occupational exposure to nitrous oxide in labor and delivery rooms. *J Occup Environ Hyg.* Juin 2005 ; 2(6):314-22.
125. Delaval K. Le Méopa, un gaz pas si hilarant. *Travail & Sécurité.* Sept 2018 ; (797):26-7. Disponible sur : http://www.travail-et-securite.fr/visu/ts/ArticleTS/TI-TS797_INRS_26-27.pdf.
126. Delaval K. Bon pour les patients, pas pour les soignants. *Travail & Sécurité.* Janv 2019 ; (801):42-3. Disponible sur : http://www.travail-et-securite.fr/visu/ts/ArticleTS/TI-TS801_INRS_42-43.pdf.
127. Dula DJ, Skiendzielewski JJ, Snover SW. The scavenger device for nitrous oxide administration. *Ann Emerg Med.* Déc 1983 ; 12(12):759-61.
128. Mills GH, Singh D, Longan M, O'Sullivan J, Caunt JA. Nitrous oxide exposure on the labour ward. *Int J Obstet Anesth.* Juill 1996 ; 5(3):160-4.
129. Collins MR, Starr SA, Bishop JT, Baysinger CL. Nitrous Oxide for Labor Analgesia : Expanding Analgesic Options for Women in the United States. *Rev Obstet Gynecol.* 2012 ; 5(3-4):e126-31.
130. Ek M, Tjus K. Destruction of Medical N₂O in Sweden. In : Liu G, éditeur. *Greenhouse Gases - Capturing, Utilization and Reduction.* InTech ; 2012. Disponible sur : <http://www.intechopen.com/books/greenhouse-gases-capturing-utilization-and-reduction/destruction-of-medical-n2o-in-sweden>.
131. INRS. Valeurs limites d'exposition professionnelle aux agents chimiques en France. 2016. Disponible sur : www.inrs.fr/dms/inrs/CataloguePapier/ED/TI-ED-984/ed984.pdf.
132. Peybernes C, Macovei D, Metais M, Olivier M, Perlumiere C, Herin F, et al. Analyse des conditions d'utilisation du MEOPA au CHU de Toulouse. *Archives des Maladies Professionnelles et de l'Environnement.* Mai 2018 ; 79(3):369-70.
133. Pété-Bonneton C, Cadot R, Charbotel B, Denis M-A. Évaluation du risque pour les soignants liés à l'exposition au protoxyde d'azote par utilisation du MEOPA. *Archives des Maladies Professionnelles et de l'Environnement.* Juin 2016 ; 77(3):430-1.
134. Passeron J, Guilleux A, Guillemot M, Langlois E, Pillière F, Bodin L, et al. MEOPA et soignants : des niveaux d'exposition pas si hilarants. *Archives des Maladies Professionnelles et de l'Environnement.* Mai 2018 ; 79(3):382-3.

7. ANNEXES

7.1. Annexe 1 : Classifications des agents cancérigènes

L'article R. 231-51 du Code du Travail définit :

- Un agent mutagène comme une substance ou préparation qui, par inhalation, ingestion ou pénétration cutanée, peut produire des défauts génétiques héréditaires ou en augmenter la fréquence.
- Un agent cancérigène comme une substance ou préparation qui, par inhalation, ingestion ou pénétration cutanée, peut provoquer un cancer ou en augmenter la fréquence.

Pour ces deux caractéristiques, les substances sont classées en 3 catégories :

- Catégorie 1 : lorsque l'on sait qu'elles sont mutagènes ou cancérigènes pour l'homme.
- Catégorie 2 : lorsque l'on sait qu'il existe une forte présomption que l'exposition de l'homme à de telles substances peut produire des défauts génétiques ou provoquer le cancer.
- Catégorie 3 : lorsque l'on sait qu'elles sont préoccupantes pour l'homme en raison d'effets mutagènes ou cancérigènes possibles mais pour lesquelles les informations disponibles sont insuffisantes pour les classer en catégorie 2.

Parallèlement, il existe d'autres classifications dont celle du Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC), agence de recherche de l'Organisation Mondiale pour la Santé (OMS), qui examine la cancérigénicité de différents agents et définit 4 groupes qui s'organisent comme suit^a :

- Groupe 1 : agent cancérigène (avéré ou certain).
- Groupe 2A : agent probablement cancérigène.
- Groupe 2B : agent peut être cancérigène ou possible.
- Groupe 3 : agent inclassable quant à sa cancérigénicité.
- Groupe 4 : agent probablement pas cancérigène.

Proche du travail du CIRC, on retrouve la Classification de l'Union Européenne (CLP) qui définit 3 catégories à propos du potentiel cancérigène ou mutagène d'une substance. Elles s'organisent comme suit :

- Catégorie 1A : substances dont le potentiel cancérigène ou mutagène pour l'être humain est avéré.
- Catégorie 1B : substances dont le potentiel cancérigène ou mutagène pour l'être humain est supposé.
- Catégorie 2 : substances suspectées d'être cancérigènes ou mutagènes pour l'homme^b.

^a: Cancer et Environnement. Classification du CIRC. [En ligne] <http://www.cancer-environnement.fr/478-Classification-des-substances-cancerogenes.ce.aspx>. Consulté le 09/09/18.

^b: Laboratoire Prévor. Les cancérigènes : différentes classifications. [En ligne] <https://www.prevor.com/fr/les-cancerogenes-differentes-classifications>. Consulté le 09/09/18.

7.2. Annexe 2 : Bouteilles de MEOPA commercialisées

Volume de gaz comprimé (en L)	Pression (en bars)	Volume de gaz libéré (en m ³ sous une pression de 1 bar à 15°C)	Poids (en g)	Nom du produit
2	170	0,59	943	ENTONOX®, KALINOX®
2	180	0,6	-	ANTASOL® 180
5	135	1,1	-	ANTASOL® 135, OXYNOX®
5	170	1,47	2358	ENTONOX®, KALINOX®
5	180	1,5	-	ANTAXOL® 180
11	170	3,23	5187	KALINOX®
15	135	3,2	-	ANTASOL® 135, OXYNOX
15	170	4,4	7073	ENTONOX®, KALINOX®
20	170	5,9	9431	KALINOX®

Tableau 28 : Bouteilles de MEOPA commercialisées.

7.3. Annexe 3 : Kits d'administration

Lors d'une administration en débit contrôlé, le kit d'administration comprend :

- Un ballon réservoir de 2 litres, parfois réutilisable.
- Une pièce en forme de T (valve unidirectionnelle anti-retour) équipée de deux valves serties indémontables, parfois réutilisable.
- Une tubulure de raccordement au MEOPA, parfois réutilisable.
- Un tuyau d'évacuation des gaz réutilisable.
- Un filtre antibactérien et antiviral à usage unique.
- Un masque d'inhalation ou un embout buccal souvent à usage unique, parfois réutilisable.

Lors d'une administration en débit à la demande, le kit d'administration comprend :

- Une valve à la demande ou valve de type Robert Shaw réutilisable.
- Un tuyau normalisé de raccordement au MEOPA réutilisable.
- Un adaptateur d'évacuation (AGSS) des gaz réutilisable (avec EASE II®) ou à usage unique si combiné au filtre antibactérien (avec ENTONOX®).
- Un tuyau d'évacuation des gaz réutilisable.
- Un filtre antibactérien et antiviral à usage unique, indépendant ou combiné à l'AGSS.
- Un masque d'inhalation ou un embout buccal souvent à usage unique, parfois réutilisables.

7.4. Annexe 4 : Recommandations d'utilisation du MEOPA en pédiatrie

Le site Internet de l'association Pédiadol nous apporte des conseils sur le déroulement d'un soin chez l'enfant. Les principales recommandations retenues sont les suivantes :

- Expliquer le soin, à distance du geste, en dehors de la salle d'examen et si possible en présence des parents, parfois en s'aidant de la fiche d'information et du poster réalisés par l'association Sparadrap.
- Mettre en confiance en privilégiant une approche progressive de l'enfant.
- Tout faire pour éviter les pleurs et l'agitation et de ne pas attendre plusieurs tentatives infructueuses avant de proposer le MEOPA.
- Démarrer l'administration de MEOPA sur l'enfant assis ou dans les bras de ses parents.
- Utiliser le jeu pour amener l'enfant à accepter le masque.
- Dédier une personne à l'administration du MEOPA tandis que quelqu'un d'autre réalise le soin.
- Veiller au calme dans lequel se déroule l'inhalation.
- Solliciter les parents, définir à l'avance le rôle de chacun.
- Toujours encourager l'auto-administration.
- Ne jamais appliquer le masque de force.
- Faire respirer le gaz pendant 3 minutes, masque parfaitement étanche sur le visage, avant de commencer le geste.
- Vérifier que le ballon ne soit jamais collabé ni distendu, son oscillation est le reflet de la ventilation.
- La personne qui aide à l'administration donne le signal du début du geste.
- Communiquer avec l'enfant sous MEOPA.
- Arrêter l'administration dès que le geste est terminé, pansement compris, puis fermer le débit-litre puis la bouteille.

7.5. Annexe 5 : Consignes de sécurité et d'utilisation des bouteilles de MEOPA

Sur le site de l'ANSM, le résumé des caractéristiques du produit spécifique au MEOPA précise que les bouteilles pleines :

- Doivent être stockées en position verticale dans un local aéré et ventilé (phrase de risque P403 sur la FDS), protégé des intempéries, propre, sans matières inflammables, réservé au stockage des gaz à usage médical et fermant à clef.
- Doivent être stockées en position horizontale durant 48 heures au moins avant leur utilisation, à des températures comprises entre 10°C et 30°C, dans une zone tampon à l'intérieur de la pharmacie et/ou dans le service utilisateur. La bouteille doit être installée dans un emplacement permettant de la protéger des risques de chocs, des sources de chaleur ou d'ignition, des matières combustibles. Elle doit être maintenue solidement arrimée, robinets fermés.
- Doivent être transportées en position verticale et être arrimées solidement à l'aide de matériel approprié pour les protéger des risques de chocs et de chute.

Les bouteilles vides doivent être maintenues en position verticale, solidement arrimées et les robinets doivent être fermés. Les bouteilles vides et pleines doivent être stockées séparément.

Au sujet de l'assemblage du dispositif d'administration, le résumé précise que :

- Pour les bouteilles munies d'un robinet, il faut s'assurer de la conformité et de la compatibilité du dispositif de détente avec ce mélange de gaz, et vérifier le bon état du joint du manodétendeur-débitmètre spécifique.
- Pour les bouteilles munies d'un manodétendeur intégré sans débit-litre, pour des raisons de sécurité, elles ne doivent être utilisées qu'avec un tuyau serti à un raccord spécifique dont la commande de verrouillage est bleue et blanche, reliée à une valve à la demande ; ou un débit-litre muni d'un raccord spécifique dont la commande de verrouillage est bleue et blanche.
- Pour les bouteilles munies d'un manodétendeur intégré avec débit-litre, elles peuvent être utilisées avec un tuyau serti à un raccord spécifique dont la commande de verrouillage est bleue et blanche, reliée à une valve à la demande à l'autre extrémité pour branchement du masque ; ou un tuyau souple raccordé à un masque à brancher sur la sortie du débit-litre (olive).

Afin d'éviter tout incident, le résumé rappelle quelques consignes de sécurité :

- De ne pas fumer, ne pas approcher d'une flamme (phrase de risque H270 sur la FDS).
- De ne jamais utiliser avec une FiO_2 inférieure à 21%.
- De ne pas utiliser de bouteille suspectée d'avoir été exposée à une température négative.
- De purger brièvement le raccord de sortie de la bouteille avant le branchement du manodétendeur pour éliminer les poussières, puis d'ouvrir progressivement le robinet afin d'éviter le refroidissement source de dé-mélange (ouverture du robinet à un tour puis revenir d'un quart de tour).
- De ne jamais se placer face à la sortie du robinet mais du côté opposé au manodétendeur, mais en retrait derrière la bouteille.
- De fermer le robinet après usage, de laisser chuter la pression du manodétendeur en laissant ouvert le débit-litre puis de le fermer avant de desserrer la vis de réglage du manodétendeur.
- De ne jamais vider complètement une bouteille, d'y laisser une pression minimale de 10 bars.
- De ne pas tenter de réparer un robinet défectueux.
- De ne pas serrer à la pince le manodétendeur-débitmètre sous peine de risque de détérioration du joint.
- De ne pas forcer le robinet et les dispositifs de raccordements.
- De ne pas utiliser de bouteille dont le robinet ou le manodétendeur n'est pas protégé par un chapeau.
- De ne pas administrer de gaz à un patient dont le visage est enduit de corps gras (vaseline par exemple) jouant le rôle de comburant (phrase de risque P220 sur la FDS).
- De ne pas graisser (phrase de risque P244 sur la FDS).
- De manipuler les dispositifs de raccordement avec des mains propres, de ne pas les nettoyer avec des produits combustibles comme des corps gras (phrases de risque P220, P244 sur la FDS).
- De ne pas utiliser de générateur d'aérosol ou de solvant sur le matériel ou à sa proximité (phrase de risque P220 sur la FDS).

7.6. Annexe 6 : Les valeurs limites d'exposition professionnelle dans d'autres pays

Aux Etats-Unis, 3 organismes établissent les valeurs limites :

- L'American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) avec la Threshold Limit Values Time-Weighted Average (TLV-TWA), équivalent de la VLEP, et le Threshold Limit Values Short-Term Exposure Limits (TLV-STEL), équivalent de la VLCT.
- Le National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) avec les Recommended Exposure Level (REL) qui se déclinent en REL-TWA et REL-STEL, comparables à des valeurs limites indicatives.
- Et enfin le Occupational Safety and Health Administration (OSHA) avec les Permissible Exposure Level (PEL) qui se déclinent en PEL-TWA et PEL-STEL, comparables à des valeurs limites contraignantes.

Dans l'Union Européenne, les valeurs limites sont élaborées par un comité scientifique, le Scientific Committee for Occupational Exposure Limits (SCOEL) avec la Time-Weighted Average (TWA), équivalent de la VLEP, et le Short-Term Exposure Limits (STEL), équivalent de la VLCT.

En Allemagne, les valeurs limites sont élaborées par un comité scientifique, le Deutsche ForschungsGemeinschaft (DFG) avec les Maximale Arbeitsplatz-Konzentration (MAK) qui se déclinent en MAK-TWA et MAK-STEL.

En Suisse, les valeurs limites sont élaborées par un comité scientifique, le Schweizerische Unfallversicherungsanstalt (SUVA) avec la Valeur Moyenne d'Exposition (VME-CH), équivalent de la VLEP, et la Valeur Limite d'Exposition (VLE-CH), équivalent de la VLCT(51).

En Belgique et aux Pays-Bas, les valeurs limites sont élaborées par un comité scientifique, respectivement le Conseil Supérieur de la Santé (CSS) et le Gezondheidsraad (GR).

7.7. Annexe 7 : Méthodologie et appareillage de contrôle d'une installation de ventilation

Type de contrôle	Contrôle à effectuer Points de mesure	Méthodologie	Appareillage
Contrôles quantitatifs	Débit d'aspiration DEFGH	Détermination du champ de vitesse dans les conduites	Tube de Pitot (NF X 10-112) Anémomètre
		Détermination du champ de vitesse aux bouches d'aspiration Technique de traçage	Anémomètre Selon gaz traceur
	Vitesse de captage ABC	Mesure directe par anémomètre	Anémomètre
	Concentration en poussière en sortie de gaine de recyclage	Méthode pondérale ou comptage direct	Appareil de prélèvement Appareil de mesure directe
	Variation du débit d'aspiration DEFIJKL	Variation de la pression statique	Prise de pression statique et manomètre
	Paramètres de fonction du ventilateur	Vitesse de rotation Puissance consommée	Tachymètre Ampèremètre
Contrôles qualitatifs	Efficacité du captage	Technique de traçage	Appareil de mesure selon le type de traceur utilisé
	Efficacité, courants d'air	Observation par fumigène	Fumigène

Tableau 29 : Méthodologie et appareillage de contrôle d'une installation.

Source disponible dans la bibliographie(116).

7.8.

Annexe 8 : Autres services du questionnaire

N°	Services	Effectif	Au moins un	
		N (171)	N	%
1	Autre service non renseigné dans cette liste	8	3	37,5%
2	CCDE 3ème Sud	1	0	
3	Centre de Soins Dentaires	4	3	75,0%
4	Chirurgie Vasculaire	3	2	66,7%
5	CS groupées HGRL	2	0	
6	CS groupées Neurotraumatologie, Orthopédie, Rhumatologie	8	1	12,5%
7	CS groupées ORL, Chirurgie Plastique et Brûlés	9	1	11,1%
8	CS Hépato-gastro - Explorations Fonctionnelles Digestives HD	1	1	100,0%
9	CS Médecine Interne	3	1	33,3%
10	CS MPR / HDJ / HDS	1	1	100,0%
11	CS Ophtalmologie	1	1	100,0%
12	CS Stomatologie	1	0	
13	CS Urologie	4	3	75,0%
14	CTCV 1er Sud	1	0	
15	Dermatologie HC / HDS	8	3	37,5%
16	Endocrinologie 5ème Nord HC / HDS	1	1	100,0%
17	Explorations Fonctionnelles Vasculaires	1	0	
18	Grossesse à Haut Risque (GHR) / Suivi Intensifs des Grossesses (SIG) / Diagnostic Anté-Natal (DAN)	3	0	
19	Hématologie HC / Secteur stérile	4	2	50,0%
20	Hépatogastro 2ème Est HC / USIMAD	1	0	
21	La Seilleraye 3ème EHPAD	1	0	
22	Médecine Infectieuse et Tropicale (SMIT) - Vasculaire 7ème Sud	3	1	33,3%
23	Médecine Intensive Réanimation	12	4	33,3%
24	Médecine Interne 7ème Est	8	2	25,0%
25	MPR - SSR 1er Nord	3	2	66,7%
26	MPR - SSR 1er Sud	1	0	
27	MPR - SSR 2ème Sud	1	1	100,0%
28	MPR - SSR 3ème Sud	1	0	
29	MPU 5ème Sud 1ère Unité	1	0	
30	MPU 6ème Est 2ème Unité	1	0	
31	Néphrologie et Immunologie	2	1	50,0%
32	Neurochirurgie 4ème Sud	1	0	
33	Neurologie 4ème Est	2	0	
34	Neurologie 4ème Ouest UNV	1	1	100,0%
35	Obstétrique	4	0	
36	Oncologie Thoracique 3ème Nord - Pneumologie 3ème Est	3	1	33,3%
37	Orthopédie RCB Sud	4	0	
38	Orthopédie RCH Sud	2	2	100,0%
39	Planning familial (Centre Simone Veil - CPEF) / UGOMPS	4	0	
40	Plateau Technique Interventionnel (HD)	1	0	
41	Pneumologie 3ème Sud	2	1	50,0%
42	Radiologie Conventionnelle - Imagerie Cardio-Vasculaire Diagnostique (HGRL)	4	1	25,0%
43	Radiologie Conventionnelle et antennes (hors HGRL)	1	0	
44	Radiologie Secteur RM - PTI (HD)	1	0	

45	Radiologie Secteur Scanner (HD)	1	0	
46	Réanimation Chirurgicale CTCV - UMTR	5	1	20,0%
47	Réanimation Chirurgicale et Brûlés	2	1	50,0%
48	Réanimation Chirurgicale Polyvalente	1	0	
49	Tête et Cou 1er Est	5	1	20,0%
50	Tête et Cou 5ème Est	4	1	25,0%
51	Transplantation rénale - Hémodialyse aiguë CS / HC	1	1	100,0%
52	Unité d'Hospitalisation de Courte Durée (UHCD)	3	1	33,3%
53	Unité de Médecine Ambulatoire en Cancérologie (UMAC HD)	2	2	100,0%
54	Unité de Transplantation Thoracique (UTT)	2	0	
55	Unité Médico-Chirurgicale Ambulatoire (UMCA HGRL)	2	1	50,0%
56	Unités Fixes Soins Palliatifs et Douleur (USP / CETD)	6	3	50,0%
57	Urgences Gynéco-Obstétriques (UGO)	3	1	33,3%
58	Urologie	5	1	20,0%

Tableau 30 : Déclaration d'au moins un symptôme lors d'une exposition au MEOPA dans les autres unités.

Aide à la lecture : l'effectif total et celui d'une colonne sont indiqués entre parenthèses (N) et les pourcentages affichés sont calculés par lignes. Les autres services non renseignés (n° 1) correspondent au Centre d'Investigation Clinique, au Centre Régional de Traitement de l'Hémophilie et à des unités non précisées.

Légende : CCDE pour Chirurgie, Cancérologie, Digestive et Endocrinienne ; CS pour consultations ; HGRL pour Hôpital Guillaume et René Laënnec ; HD pour Hôtel-Dieu ; MPR pour Médecine Physique et de Réadaptation ; HDJ pour Hôpital De Jour ; HDS pour Hôpital De Semaine ; CTCV pour Chirurgie Thoracique et Cardio-Vasculaire ; HC pour Hospitalisation Conventionnelle ; USIMAD pour Unité de Soins Intensifs pour les Maladies de l'Appareil Digestif ; SSR pour Soins de Suite et de Réadaptation ; MPU pour Médecine Polyvalente d'Urgence ; UNV pour Unité Neuro-Vasculaire ; RCB pour Rez-de-Chaussée Bas ; CPEF pour Centre de Planification et d'Éducation Familiale ; UGOMPS pour Unité de Gynécologie-Obstétrique Médico-Psycho-Sociale ; PTI pour Plateau Technique Interventionnel ; UMTR pour Unité de Soins Intensifs Cardiologiques.

Services	Effectif	Exceptionnel, rare		1 à 4 fois		5 à 9 fois		10 fois ou plus	
	N (171)	N	%	N	%	N	%	N	%
1	8	5	62,5%	3	37,5%	0		0	
2	1	1	100,0%	0		0		0	
3	4	0		1	25,0%	1	25,00%	2	50,0%
4	3	2	66,7%	1	33,3%	0		0	
5	2	1	50,0%	1	50,0%	0		0	
6	8	0		6	75,0%	2	25,00%	0	
7	9	0		7	77,8%	2	22,22%	0	
8	1	1	100,0%	0		0		0	
9	3	1	33,3%	2	66,7%	0		0	
10	1	0		1	100,0%	0		0	
11	1	1	100,0%	0		0		0	
12	1	1	100,0%	0		0		0	
13	4	0		4	100,0%	0		0	
14	1	1	100,0%	0		0		0	
15	8	6	75,0%	2	25,0%	0		0	
16	1	1	100,0%	0		0		0	
17	1	1	100,0%	0		0		0	
18	3	2	66,7%	1	33,3%	0		0	

19	4	3	75,0%	1	25,0%	0		0	
20	1	0		1	100,0%	0		0	
21	1	1	100,0%	0		0		0	
22	3	2	66,7%	1	33,3%	0		0	
23	12	12	100,0%	0		0		0	
24	8	7	87,5%	1	12,5%	0		0	
25	3	0		3	100,0%	0		0	
26	1	1	100,0%	0		0		0	
27	1	1	100,0%	0		0		0	
28	1	0		1	100,0%	0		0	
29	1	1	100,0%	0		0		0	
30	1	1	100,0%	0		0		0	
31	2	2	100,0%	0		0		0	
32	1	1	100,0%	0		0		0	
33	2	2	100,0%	0		0		0	
34	1	1	100,0%	0		0		0	
35	4	2	50,0%	2	50,0%	0		0	
36	3	3	100,0%	0		0		0	
37	4	3	75,0%	1	25,0%	0		0	
38	2	1	50,0%	1	50,0%	0		0	
39	4	1	25,0%	3	75,0%	0		0	
40	1	0		0		1	100,0%	0	
41	2	1	50,0%	1	50,0%	0		0	
42	4	3	75,0%	1	25,0%	0		0	
43	1	0		1	100,0%	0		0	
44	1	1	100,0%	0		0		0	
45	1	1	100,0%	0		0		0	
46	5	2	40,0%	3	60,0%	0		0	
47	2	2	100,0%	0		0		0	
48	1	1	100,0%	0		0		0	
49	5	4	80,0%	1	20,0%	0		0	
50	4	1	25,0%	2	50,0%	0		1	25,0%
51	1	1	100,0%	0		0		0	
52	3	1	33,3%	2	66,7%	0		0	
53	2	1	50,0%	1	50,0%	0		0	
54	2	1	50,0%	1	50,0%	0		0	
55	2	2	100,0%	0		0		0	
56	6	5	83,3%	1	16,7%	0		0	
57	3	3	100,0%	0		0		0	
58	5	1	20,0%	4	80,0%	0		0	

Tableau 31 : Fréquence des expositions au MEOPA en nombre moyen d'actes dans les autres unités.

Aide à la lecture : l'effectif total et celui d'une colonne sont indiqués entre parenthèses (N) et les pourcentages affichés sont calculés par lignes. Le service correspondant à une ligne peut être identifié par le numéro faisant référence au tableau n°30.

7.9. Annexe 9 : Autres résultats au sujet des expositions

Sur le tableau suivant, l'exposition est exprimée en nombre moyen d'heures par semaine. On retrouve des relations similaires entre les expositions et l'âge, la fonction et les services. On remarque que 39,1% de nos répondants déclarent être exposés au MEOPA moins d'une heure par semaine contre 82,9% (n = 184/222) à l'EPP de 2013. Cette différence pourrait s'expliquer par la représentation des services au sein des populations de répondants, notre population étant pédiatrique pour un tiers contre 12% (n = 28/234) dans l'EPP, alors que les services de pédiatrie sont clairement identifiés comme les principaux consommateurs de MEOPA(74).

Il semblerait que chez les soignants de 50 à 60 ans, les expositions hebdomadaires d'une ou deux heures soient plus représentées que dans les autres groupes, avec respectivement 50% et 22,7% des répondants. Comme précédemment (3.3.4.3.), la tendance inverse s'observe chez les moins de 50 ans, avec une proportion plus importante de soignants exposés moins d'une heure contre une faible représentation chez les plus de 50 ans. Encore une fois, ces constats sont à prendre avec précaution car les effectifs des classes d'âges de plus de 50 ans sont faibles.

Pour la fonction exercée, les auxiliaires de puériculture et les infirmières spécialisées sont plus représentées que les autres groupes sur des durées de 2 heures ou plus.

Pour les services, les durées les plus longues sont retrouvées chez les brûlés adultes, service où les soins sous MEOPA durent généralement d'une demi-heure à une heure, avec 30% du personnel exposé 6 heures ou plus par semaine. Puis ce sont les urgences pédiatriques et l'oncologie pédiatrique avec 48,6% et 35% du personnel exposé 3 à 5 heures ; puis les urgences adultes et la pédiatrie avec 60% et 58,6% du personnel exposé 1 ou 2 heures. Par ailleurs, il est intéressant de constater que ces résultats sont concordants avec les niveaux de consommation en bouteilles de MEOPA que nous avons définis au début de l'étude.

	Moins d'1h		1h		2h		3 à 5h		6h ou plus	
N (343)	N (134)	39,1%	N (101)	29,4%	N (52)	15,2%	N (43)	12,5%	N (13)	3,8%
Âge										
20 à 30 ans	46	41,4%	30	27,0%	18	16,2%	14	12,6%	3	2,7%
30 à 40 ans	54	41,2%	37	28,2%	20	15,3%	17	13,0%	3	2,3%
40 à 50 ans	29	39,7%	21	28,8%	8	11,0%	9	12,3%	6	8,2%
50 à 60 ans	4	18,2%	11	50,0%	5	22,7%	2	9,1%	0	
Plus de 60 ans	1	16,7%	2	33,3%	1	16,7%	1	16,7%	1	16,7%
Fonction										
Aide-soignant(e)	8	42,1%	7	36,8%	2	10,5%	0		2	10,6%
Autre	6	54,5%	3	27,3%	1	9,1%	1	9,1%	0	
Autre IDE	1	7,1%	6	42,9%	4	28,6%	3	21,4%	0	
Auxiliaire de puériculture	3	8,3%	11	30,6%	9	25,0%	9	25,0%	4	11,1%
Infirmier(ère) (IDE)	75	43,1%	48	27,6%	24	13,8%	23	13,2%	4	2,3%
Interne	21	53,8%	9	23,1%	6	15,4%	3	7,7%	0	
Médecin thésé	20	40,0%	17	34,0%	6	12,0%	4	8,0%	3	6,0%
Services										
Anesthésie et blocs	4	21,1%	5	26,3%	6	31,6%	3	15,8%	1	5,3%
Autres unités	98	57,3%	50	29,2%	13	7,6%	7	4,1%	3	1,8%
Brûlés Adultes 1er Est	1	10,0%	2	20,0%	2	20,0%	2	20,0%	3	30,0%
Oncologie Pédiatrique	2	10,0%	2	10,0%	8	40,0%	7	35,0%	1	5,0%
Pédiatrie	16	27,6%	21	36,2%	13	22,4%	5	8,6%	3	5,2%
Pédiatrie Urgences / UHCD	3	8,6%	7	20,0%	6	17,1%	17	48,6%	2	5,7%
Urgences Adultes	10	33,3%	14	46,7%	4	13,3%	2	6,7%	0	

Tableau 32 : Fréquence des expositions de MEOPA en nombre moyen d'heures.

Résultats des fréquences des expositions selon le nombre moyen d'heures par semaine.

Une moyenne a été calculée sur la variable quantitative d'origine, elle est d'une heure et demie.

Aide à la lecture : l'effectif total et celui d'une colonne sont indiqués entre parenthèses (N) et les pourcentages affichés sont calculés par lignes.

7.10.

Annexe 10 : Moyens d'évacuation des gaz expirés et services

	Non		Oui	
	N	%	N	%
Tuyau à la fenêtre				
Anesthésie et blocs	16	84,2%	3	15,8%
Autres unités	34	20,4%	133	79,6%
Brûlés Adultes 1er Est	1	10,0%	9	90,0%
Oncologie Pédiatrique	19	95,0%	1	5,0%
Pédiatrie	29	51,8%	27	48,2%
Pédiatrie Urgences / UHCD	18	54,5%	15	45,5%
Urgences Adultes	1	3,3%	29	96,7%
Tuyau à la porte				
Anesthésie et blocs	18	94,7%	1	5,3%
Autres unités	136	81,4%	31	18,6%
Brûlés Adultes 1er Est	9	90,0%	1	10,0%
Oncologie Pédiatrique	18	90,0%	2	10,0%
Pédiatrie	31	55,4%	25	44,6%
Pédiatrie Urgences / UHCD	20	60,6%	13	39,4%
Urgences Adultes	4	13,3%	26	86,7%
Tuyau + ventilation non activable				
Anesthésie et blocs	17	89,5%	2	10,5%
Autres unités	155	94,5%	9	5,5%
Brûlés Adultes 1er Est	4	40,0%	6	60,0%
Oncologie Pédiatrique	19	95,0%	1	5,0%
Pédiatrie	49	90,7%	5	9,3%
Pédiatrie Urgences / UHCD	7	21,9%	25	78,1%
Urgences Adultes	25	89,3%	3	10,7%
Tuyau + VMC				
Anesthésie et blocs	15	78,9%	4	21,1%
Autres unités	145	90,6%	15	9,4%
Brûlés Adultes 1er Est	4	44,4%	5	55,6%
Oncologie Pédiatrique	19	100,0%	0	
Pédiatrie	52	96,3%	2	3,7%
Pédiatrie Urgences / UHCD	14	48,3%	15	51,7%
Urgences Adultes	22	75,9%	7	24,1%

	Non		Oui	
	N	%	N	%
Tuyau dans la salle				
Anesthésie et blocs	14	73,7%	5	26,3%
Autres unités	122	74,8%	41	25,2%
Brûlés Adultes 1er Est	8	80,0%	2	20,0%
Oncologie Pédiatrique	15	78,9%	4	21,1%
Pédiatrie	24	42,9%	32	57,1%
Pédiatrie Urgences / UHCD	23	69,7%	10	30,3%
Urgences Adultes	20	66,7%	10	33,3%
Tuyau dans le couloir				
Anesthésie et blocs	17	89,5%	2	10,5%
Autres unités	141	84,4%	26	15,6%
Brûlés Adultes 1er Est	10	100,0%	0	
Oncologie Pédiatrique	17	89,5%	2	10,5%
Pédiatrie	38	69,1%	17	30,9%
Pédiatrie Urgences / UHCD	17	51,5%	16	48,5%
Urgences Adultes	8	26,7%	22	73,3%
Tuyau au plus loin des soins				
Anesthésie et blocs	14	73,7%	5	26,3%
Autres unités	107	66,0%	55	34,0%
Brûlés Adultes 1er Est	4	44,4%	5	55,6%
Oncologie Pédiatrique	17	89,5%	2	10,5%
Pédiatrie	26	47,3%	29	52,7%
Pédiatrie Urgences / UHCD	21	67,7%	10	32,3%
Urgences Adultes	17	56,7%	13	43,3%
Tuyau + prise SEGA				
Anesthésie et blocs	3	16,7%	15	83,3%
Autres unités	132	83,5%	26	16,5%
Brûlés Adultes 1er Est	6	66,7%	3	33,3%
Oncologie Pédiatrique	19	95,0%	1	5,0%
Pédiatrie	43	82,7%	9	17,3%
Pédiatrie Urgences / UHCD	10	31,3%	22	68,7%
Urgences Adultes	5	17,2%	24	82,8%

Tableau 33 : Moyens d'évacuation des gaz expirés et services.

Aide à la lecture : les pourcentages affichés sont calculés par lignes. Les personnes ayant indiqué "je ne sais pas" n'ont pas été affichées.

ETUDE MEOPA

Pensez au questionnaire !

Le service de santé au travail, en collaboration avec la CARSAT, l'INRS et le CLUD-SP, évalue vos pratiques et expositions professionnelles au MEOPA.

Rendez-vous sur <http://tiny.cc/meopa> ou sur le QR code.

**CENTRE HOSPITALIER
UNIVERSITAIRE DE NANTES**

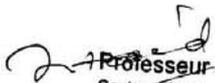
Carsat Retraite & Santé au travail

inrs
Institut National de Recherche et de Sécurité

Figure 47 : Affiche de l'étude.

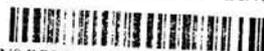
Vu, le Président du Jury,
(tampon et signature)

Professeur Julien NIZARD


Professeur Julien NIZARD
Centre d'Enseignement et Recherche
Douleur - Soins de Support
Faculté de Médecine de NANTES

Vu, le Directeur de Thèse,
(tampon et signature)

KUHN BOUGOUIN EMMANUEL

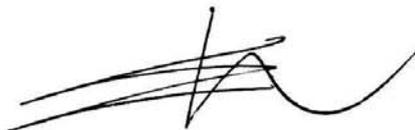


N° RPPS : 10002592284



N° FINLESS : 440017598

Docteur Emmanuelle KUHN



Vu, le Doyen de la Faculté,

Professeur Pascale JOLLIET

Titre de thèse : Évaluation des pratiques professionnelles et des risques chez les soignants liés à l'utilisation du MEOPA (Mélange Équimolaire d'Oxygène et de Protoxyde d'Azote) dans le cadre de la prise en charge de la douleur au CHU de Nantes.

RÉSUMÉ : Le Mélange Équimolaire d'Oxygène et de Protoxyde d'Azote est un gaz utilisé pour l'analgésie des soins douloureux. Nous avons évalué les pratiques et les risques professionnels d'utilisation de ce gaz au CHU de Nantes par métrologie, des études de poste et un questionnaire.

La métrologie a consisté en des prélèvements atmosphériques pour mesurer les niveaux d'exposition du personnel. L'air est prélevé dans des tubes de zéolithe, passivement ou activement à l'aide d'une pompe et l'analyse est faite par chromatographie en phase gazeuse et détection au microcatharomètre. Les prélèvements ont été réalisés aux urgences pédiatriques, premier consommateur de gaz, chez les brûlés adultes et en réanimation chirurgicale. Nous avons suivi 12 soignants autour de 8 gestes. Nos résultats ont dépassé les valeurs recommandées françaises pour 7 soignants dont 3 à l'administration. Les valeurs d'exposition sur 8 heures vont jusqu'à 16,7 fois la valeur de référence de 25 ppm, et jusqu'à 55 fois la référence pour les courtes durées d'exposition. Ces résultats peuvent s'expliquer par la consommation importante de gaz, le confinement dans des locaux insuffisamment ventilés, la durée, les conditions thermiques et la présence de fuites à l'administration. Pour le questionnaire, 45,6% des 316 répondants exposés ont déclaré au moins un symptôme rythmé par les administrations, principalement des céphalées, bouffées de chaleur, vertiges, nausées et vomissements. Les aides-soignantes, les auxiliaires de puériculture, les infirmières, le personnel soignant administrant plus de 5 fois par semaine ou travaillant dans un service consommant plus de 200 obus par an, semblent plus à risque de présenter des symptômes.

L'élaboration de mesures de prévention semble nécessaire, par la formation et la sensibilisation aux bonnes pratiques pour réduire les fuites, l'amélioration de la ventilation des locaux et/ou la réduction de la consommation par l'utilisation d'une valve à la demande. Des prélèvements atmosphériques à distance des mesures préventives retenues devraient nous permettre d'évaluer le bénéfice sur les niveaux d'exposition. Le médecin du travail joue un rôle primordial dans la sensibilisation et l'élaboration de stratégies de gestion de ce risque.

MOTS-CLEFS : Protoxyde d'azote, MEOPA, Mélange Équimolaire d'Oxygène et de Protoxyde d'Azote, prise en charge de la douleur, douleur liée aux soins, exposition professionnelle, pratique professionnelle, personnel soignant, métrologie, questionnaire.