



**l'Assurance
Maladie**

RISQUES PROFESSIONNELS

Caisse régionale
Île-de-France

Guide pour prévenir les expositions professionnelles aux gaz et vapeurs anesthésiques

Document réalisé par le groupe
pluridisciplinaire « anesthésie et
qualité de l'air (3^{ème} édition) »

DTE n°101

Gaz et vapeurs anesthésiques sont largement présents dans les locaux de soins. Produits chimiques volatils, ils sont utilisés pour leurs effets à concentration thérapeutique. Sans précautions particulières, il existe une imprégnation des salariés voire un risque d'effets sur la santé. Pour l'éviter, il y a lieu de veiller à la qualité de l'air et de maintenir les expositions aux niveaux les plus bas techniquement possibles.

Ce guide a pour objet de :

- ◇ faire connaître les niveaux d'expositions existants,*
- ◇ aider à comprendre les effets sur la santé,*
- ◇ présenter les repères réglementaires,*
- ◇ se familiariser avec la démarche d'évaluation et de maîtrise du risque chimique,*
- ◇ aider à déterminer un plan d'action.*

Ce guide est destiné à toutes les personnes concernées par l'hygiène et la sécurité dans les établissements de soins : directeurs, médecins anesthésistes-réanimateurs, directeurs des soins infirmiers, pharmaciens, responsables techniques, médecins du travail, membres de C.H.S.C.T.

Un deuxième document informatif succinct (8 pages) est également disponible, destiné à faciliter l'information d'un plus large public.

Ce guide a été réalisé par un groupe de travail qui a eu la volonté de mettre en commun savoirs et expériences composé de professionnels de la prévention et de professionnels de santé dont les représentants de la Société Française d'Anesthésie-Réanimation. Il accueillera avec attention toutes les remarques et propositions qui lui seront transmises.

Groupe pluridisciplinaire : "ANESTHESIE ET QUALITE DE L'AIR"

Docteur Louis BARRE
Médecin-Conseil, Direction du Service Médical de la région Ile de France, CNAMTS

Marie-Claude BENAOUA
Cadre Infirmier Supérieur, SIRIF, Ecole Régionale des Infirmiers-Anesthésistes, Saint-Germain en Laye

Dr Christine BRETON
Conseiller Médical, Unité d'Hygiène Industrielle, Prévention des Risques Professionnels, CRAM Ile-de-France

Dr Jean-Bernard CAZALAA
Anesthésiste à l'Hôpital Necker, Vice Président de la Commission Nationale de matériovigilance, membre du Comité Sécurité de la Société Française d'Anesthésie-Réanimation

Pr François CLERGUE
Chef de Service d'Anesthésie-Réanimation de l'Hôpital Cantonal de Genève, Ex Président du Comité Sécurité de la Société Française d'Anesthésie-Réanimation

Hervé CLERMONT
Contrôleur de Sécurité, Prévention des Risques Professionnels, CRAM Ile-de-France

Pr Françoise CONSO
Professeur de Médecine du Travail, Chef du Service de Pathologie Professionnelle, Hôpital Cochin, AP-HP

Dr Sylvaine CORDIER
Epidémiologiste, Chercheur à l'Unité INSERM 170 de Recherches épidémiologiques et statistiques sur l'environnement et la santé

Georges CROATTO
Ingénieur Conseil Responsable de l'Unité Hygiène Industrielle, Prévention des Risques Professionnels, CRAM Ile-de-France

Pr Sylvain DALLY
Professeur de Toxicologie et Médecine Légale, Hôpital Fernand Widal, AP-HP

Michel DELFOSSE
Ingénieur Conseil Responsable du Centre de Mesures Physiques, Prévention des Risques Professionnels, CRAM Ile-de-France

Dr Brigitte DIERS
Toxicologue, UPS 831 - I.C.S.N., C.N.R.S., Gif sur Yvette

Corinne DOGAN
Contrôleur de Sécurité, Laboratoire de Toxicologie Industrielle, Prévention des Risques Professionnels, CRAM Ile-de-France

Dr Madeleine ESTRYN-BEHAR
Médecin du Travail, Hôpital Saint-Louis, AP-HP

Pr Marc FISCHLER
Chef de Service d'Anesthésie-Réanimation, Hôpital Foch, Suresnes

Sylvie FOUGERE
Ingénieur Biomédical au Bureau d'Etude Technique des Equipements Biomédicaux de l'AP-HP (BETEM)

Dr Elisabeth GABARRA
Médecin du Travail, Hôpital Laënnec, AP-HP

Eric JULLIAN
Ingénieur chargé du secteur "Anesthésie-Réanimation-Urgences", Bureau EMI, Direction des Hôpitaux, Ministère du Travail et des Affaires Sociales

Jacques LAUREILLARD
Ingénieur Conseil Responsable du Laboratoire de Toxicologie Industrielle, Prévention des Risques Professionnels, CRAM Ile-de-France

Dr Marie-Françoise MAILLARD
Médecin du Travail, Hôpital Antoine Beclère AP-HP, Clamart

François MARANNE
Contrôleur de Sécurité, Prévention des Risques Professionnels, CRAM Ile-de-France

Didier MARCELIN
Ex Responsable du Service Environnement et Conditions de Travail (SECT) à la Direction de l'Equipement et du Système d'Information (DESI) de l'AP-HP

Claude MICHEL
Ingénieur Conseil, Centre de Mesures Physiques, Prévention des Risques Professionnels, CRAM Ile-de-France

Michel MONTAMAT
Chef du Département Références et Essais Chimiques au Laboratoire National d'Essais, Paris

Dr François MORIN
Chef de Service d'Anesthésie-Réanimation, Hôpital Saint-Joseph, Paris

Pr Yves NIVOCHÉ
Chef de Service d'Anesthésie-Réanimation, Hôpital Robert Debré AP-HP Paris, membre de la Sous-Commission Anesthésie-Réanimation, de la Commission Nationale de Matériovigilance, membre du Comité Sécurité de la Société Française d'Anesthésie-Réanimation

Patrick PLASSAIS
Ingénieur Régional de l'Equipement Sanitaire et Social
Direction Régionale de l'Action Sanitaire et Sociale d'Ile de France

Docteur Elisabeth ROBERT
Médecin Directeur de l'Institut Européen des Génomutations, Lyon

Pr Denis SAFRAN
Chef de Service d'Anesthésie-Réanimation, Hôpital Laënnec, AP-HP Paris, membre de la Sous-Commission Anesthésie-Réanimation de la Commission Nationale de Matériovigilance, Président du Comité Sécurité de la Société Française d'Anesthésie-Réanimation

Dr Marie-Joseph SAUREL-CUBIZOLLES
Chercheur épidémiologiste, Unité INSERM 149 de Recherches Epidémiologiques sur la santé des femmes et des enfants

Dr Michel VIGNIER
Chef de service d'Anesthésie-Réanimation du Centre Hospitalier François Quesnay, Mantes la Jolie
Vice président du Syndicat des Anesthésistes-Réanimateurs des Hôpitaux Non Universitaires

Raymond VINCENT
Chimiste
Institut National de Recherche et de Sécurité - Nancy

Pour tout renseignement ou commande de documents, plaquette d'information ou guide méthodologique (gratuits), veuillez prendre contact auprès de :



CRAM ILE DE FRANCE
Service Prévention des Risques Professionnels
Unité d'Hygiène Industrielle et Pathologie Professionnelle

17/19 Place de l'Argonne - 75019 PARIS
☎ 01.40.05.38.30 - Fax : 01.40.05.38.84

SOMMAIRE

● I Connaissance du risque

1.1	L'anesthésie - Description, principes et définitions	5
	- Les phases de l'anesthésie	
	- Le matériel	
	- Les différents systèmes d'administration des gaz aux patients	
	- Avantages et inconvénients des différents systèmes en terme de pollution	
1.2	Les effets sur la santé et l'environnement	10
1.3	Repères réglementaires	16
	- Les principes généraux de prévention	
	- Les valeurs limites d'exposition professionnelle recommandées	
	- L'aération et l'assainissement des locaux de travail	
	- Les dispositifs médicaux	
1.4	Evaluation des expositions professionnelles	20
	- Données de la littérature	
	- L'expérience de la CRAM Ile de France	

◆ II Guide méthodologique d'évaluation de la pollution

	Veiller à la qualité de l'air des locaux où sont utilisés des gaz anesthésiques	38
2.1	Observer	40
2.2	Evaluer les expositions	44
	- Evaluation qualitative	
	- Mesurage des niveaux d'exposition aux gaz anesthésiques	
	- Mesurage de la ventilation générale des salles d'opération	
2.3	Recueil des données médicales	48

■ III Maîtriser la pollution

3.1	Appliquer les bonnes pratiques d'anesthésie..	50
3.2	Adapter les locaux de travail..	52
3.3	Le personnel..	54
3.4	Evaluation de l'action et suivi du plan	54

Annexe :	Détail de la méthode 6 développée par le Laboratoire de Toxicologie Industrielle de la CRAM Ile de France.....	55
-----------------	--	----

	Bibliographie	57
---	----------------------------	----

	Adresses utiles	62
---	------------------------------	----

Utilisations et circonstances d'exposition

- Les lieux et locaux où sont administrés des anesthésies dans le respect des bonnes pratiques médicales sont les suivants :
 - blocs opératoires (salles d'opération et locaux annexes),
 - salles d'endoscopie,
 - salles de radiologie interventionnelle,
 - salles d'IRM et scanner,
 - salles d'exploration hémodynamique,
 - salles de naissance,
 - salles d'hospitalisation où sont réalisés des gestes douloureux,
 - cabinets dentaires (pratique peu répandue en France),
 - salles d'opération destinées aux animaux,
 - locaux où sont entretenus les respirateurs et cuves à halogénés.
- Ce document développera essentiellement l'exposition aux gaz anesthésiques dans les blocs opératoires.

1.1. L'anesthésie : Description, principes et définitions

Deux types distincts d'anesthésie peuvent être mis en œuvre :

- anesthésie locale ou loco-régionale,
- anesthésie générale utilisant souvent l'inhalation de gaz et/ou vapeurs anesthésiques.

Nous nous limiterons à l'étude de ce dernier cas.

L'usage de l'expression gaz anesthésiques implique l'utilisation du protoxyde d'azote, de formule N_2O (encore appelé oxyde nitreux ou hémioxyde d'azote) ; ce dernier ne permet pas à lui seul de réaliser l'anesthésie.

L'expression vapeurs anesthésiques correspond aux agents volatils halogénés autrefois éther, chloroforme, actuellement halothane, isoflurane, enflurane, desflurane, sévoflurane.

Quelques données chiffrées :

On estime à environ 10.000 le nombre de salles d'opération en fonction dont 5.820 en secteur privé (Etude Ministère de la Santé, 1991), 8.000 sont consacrées à la chirurgie lourde. En secteur privé, on sait qu'il existe en moyenne 5 salles/établissement et le nombre moyen d'opérations par salle est d'environ 2/jour [2].

Les données les plus récentes révèlent que l'activité anesthésique a augmenté et évolué, ce qui pourrait évoquer une tendance à l'augmentation de l'exposition aux gaz et vapeurs anesthésiques malgré l'évolution des techniques.

Selon une enquête de la Société Française d'Anesthésie et de Réanimation, environ 8 millions d'anesthésies ont été réalisées en France en 1996, soit une augmentation de 120% par rapport à la précédente enquête de l'INSERM effectuée en 1980. 13,5% de la population est anesthésiée chaque année et dans 77% des cas, il s'agit d'anesthésies générales. Ces anesthésies sont réalisées pour 16% d'entre elles dans les CHU, 20% dans les CHG, 6% dans les PSPH, 58% dans les cliniques privées.

Résumé des principales caractéristiques physico-chimiques des produits utilisés

Gaz anesthésiants	Formule	Masse molaire	Température d'ébullition	1 ppm équivaut à	1 mg/m ³ équivaut à
Protoxyde d'azote ¹	N_2O	44	- 89,8° C	1,80 mg/m ³	0,56 ppm
Halothane ² ou Fluothane®	$CF_3-CHBrCl$	196,4	50,2° C	8,03 mg/m ³	0,12 ppm
Isoflurane ² ou Forane®	$CF_3-CHCl-O-CHF_2$	184,4	48,5° C	7,54 mg/m ³	0,13 ppm
Enflurane ² ou Ethrane®	$CHClF-CF_2-O-CHF_2$	184,4	56° C	7,54 mg/m ³	0,13 ppm
Desflurane ² ou Suprane®	$CF_3-CHF-O-CHF_2$	168	23,5° C	6,87 mg/m ³	0,15 ppm
Sévoflurane ² ou Sévofrane®	$CF_3-CH(CF_3)-O-CH_2F$	200	58,5° C	8,18 mg/m ³	0,12 ppm

Formules de conversion ppm · mg/m³ :

$$\text{valeur en mg/m}^3 = \text{valeur en ppm} \times \frac{\text{masse molaire}}{24,45}$$

$$\text{valeur en ppm} = \text{valeur en mg/m}^3 \times \frac{24,45}{\text{masse molaire}}$$

Tableau 1

¹ Sous forme de gaz à température ambiante

Sous forme de liquide à température ambiante



1.1 - L'anesthésie : Description, principes et définitions

La durée d'intervention est deux fois plus longue dans les CHU (médiane : 80 minutes) que dans les cliniques privées (médiane : 40 minutes). Les inductions y sont donc plus nombreuses.

La chirurgie ne représente désormais que 70% des actes justifiant une anesthésie contre 90% en 1980 soit environ 6 millions d'actes se répartissant entre chirurgie orthopédique (1/4), obstétrique (500 000 actes), ophtalmologie (activité qui a quadruplé atteignant 443 000 actes), chirurgie digestive (306 000 actes) et chirurgie ORL.

Ces actes sont réalisés dans 80% des cas sous anesthésie générale (AG) et sédation avec dans 61% des cas une intubation trachéale et 12% des cas un masque laryngé. Un circuit avec réinhalation des gaz

expirés est utilisé chez 42% des patients dont l'anesthésie comporte un halogéné et dure plus de 60 minutes. **L'utilisation des anesthésiques volatiles a augmenté (77% des AG en 1996 contre 49% en 1980).**

Le nombre d'anesthésies réalisées en 1996 pour **des patients ambulatoires** est d'environ **2 millions** (27% de l'ensemble) soit **12 fois plus qu'en 1980**. Les actes sont de type chirurgie ORL et orthopédique (54%) et endoscopique dans 38% des cas. Il s'agit généralement **d'actes courts, 50%** des anesthésies durant 20 minutes au moins.

Les anesthésies pour endoscopie digestive représentent 16% de l'activité totale soit 1 200 000 actes, c'est à dire 50 fois plus qu'en 1980. Elles ont lieu dans 74% des cas en

clinique privée et sont généralement réalisées au masque.

L'ensemble de ces données fait apparaître :

- une augmentation importante de l'activité,
- une augmentation relative de l'utilisation des anesthésiques gazeux halogénés,
- une augmentation des actes courts tels les endoscopies ou les actes ambulatoires.

Il semble donc essentiel que ces actes se réalisent dans des conditions satisfaisantes notamment en matière de qualité de l'air des locaux de travail.

1.1.1. Les phases de l'anesthésie

Nous citerons, ici et ultérieurement comme document de référence les Recommandations adoptées à partir de 1988 par la Société Française d'Anesthésie et de Réanimation notamment la Recommandation concernant l'appareil d'anesthésie et sa vérification avant l'utilisation [3].

On peut distinguer plusieurs phases de l'anesthésie :

- **L'induction** : phase de perte de conscience, se pratique généralement au masque, sous oxygène pur, avec un agent anesthésique intraveineux. Le protoxyde d'azote peut être utilisé à la fin de cette phase (entre 50 et 70 % du mélange N_2O/O_2). Chez l'enfant, l'induction est souvent réalisée au masque à l'aide d'halogénés.

Le mélange gazeux est fourni soit par un circuit accessoire (dit circuit

d'induction) en partie indépendant de l'appareil d'anesthésie soit par l'appareil d'anesthésie mis alors en position manuelle.

- **La phase d'entretien** : Le mélange gazeux est fourni au patient par l'appareil d'anesthésie soit par l'intermédiaire d'une sonde d'intubation trachéale, soit par un masque pour les interventions de courte durée ainsi que pour celles pratiquées sur les jeunes enfants. Le mélange anesthésique est composé d'oxygène et de protoxyde d'azote ; le taux d'oxygène ne pourra jamais être inférieur à 21 % (les concentrations respectives de ces deux gaz sont souvent proches de 50 %).

Le mélange est fréquemment additionné de 0,5 à 3 % d'un anesthésique halogéné :

. halothane (Fluothane®), actuellement plus particulièrement utilisé chez l'enfant en bas âge (1-3 %),

isoflurane (Forane®), le plus fréquemment utilisé aujourd'hui (1-3 %), enflurane (Ethrane®), quasi abandonné (1-3 %), desflurane (Suprane®) (5-12 %), sévoflurane en cours d'AMM (3-5%).

Le débit total du mélange anesthésique nécessaire au patient est de 6 à 12 l/min pour un adulte. Le patient absorbera environ 0,25 l/min d'oxygène et 0,25 l/min de protoxyde d'azote et rejettera le complément dans l'air expiré.

- **La fin de l'anesthésie**: l'administration des gaz halogénés est interrompue avant la fin de l'intervention, puis on supprime le protoxyde d'azote pour terminer en oxygène pur.

- **La phase de réveil** doit se dérouler dans une salle spécifique. Le patient continue à exhaler les gaz (30' après la fin de l'anesthésie, il est estimé que 80 % du protoxyde d'azote est éliminé pendant cette phase).

1.1 - L'anesthésie : Description, principes et définitions

1.1.2. Le matériel

L'insufflation du mélange gazeux et l'expiration se font par l'intermédiaire de la machine d'anesthésie qui est reliée à des sources de gaz : oxygène, protoxyde d'azote, parfois air (pour mémoire, couleurs des canalisations : *blanc* = oxygène, *bleu* = protoxyde d'azote, *vert* = vide médical, *noir rayé blanc* = air médical) et comporte :

- un mélangeur,
- un vaporisateur, cuve d'évaporation de composé halogéné, avec doseur (une cuve par composé),
- un ventilateur: pompe à soufflet, mue par un moteur électrique en général, parfois pneumatique,
- un circuit inspiratoire et un circuit expiratoire, la circulation des gaz étant déterminée par un système de valves. Selon qu'il y a réinhalation ou non, il s'agit d'un circuit dit fermé ou ouvert,
- le mélange gazeux est administré au patient au travers d'un masque, d'une sonde d'intubation ou d'une canule de trachéotomie.

Remarque: Il est évident que la description que nous venons de faire est très schématique ; il faudrait y ajouter des dispositifs humidificateur et réchauffeur de gaz (le mélange est saturé en vapeur d'eau à une température proche de 37° C), un piège à eau, des filtres, un ballon, des capteurs de pression, des sondes, des analyseurs, un absorbeur de CO₂...

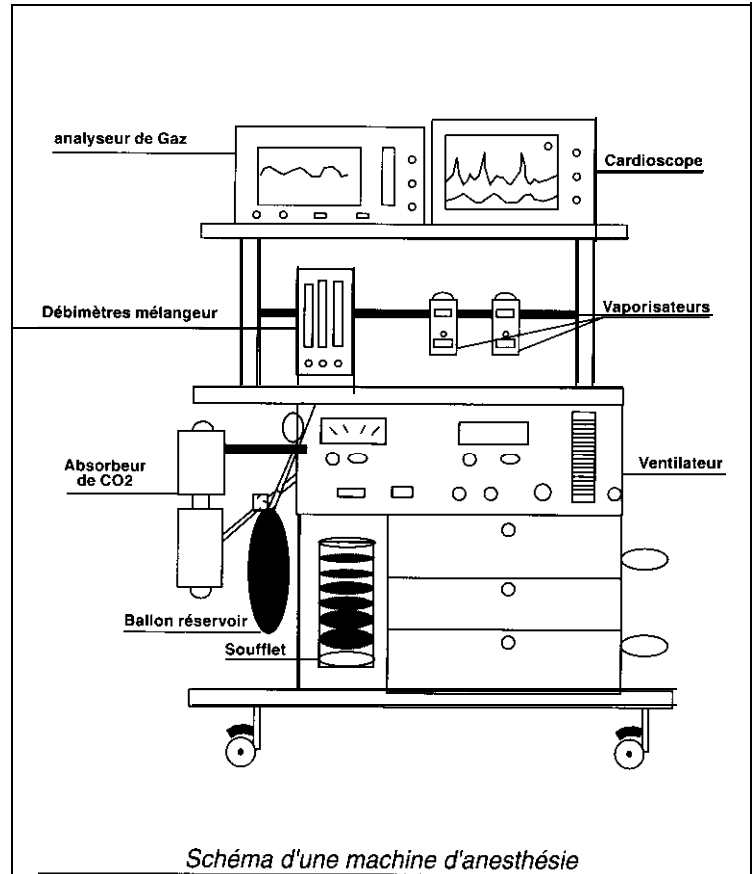


Figure 1

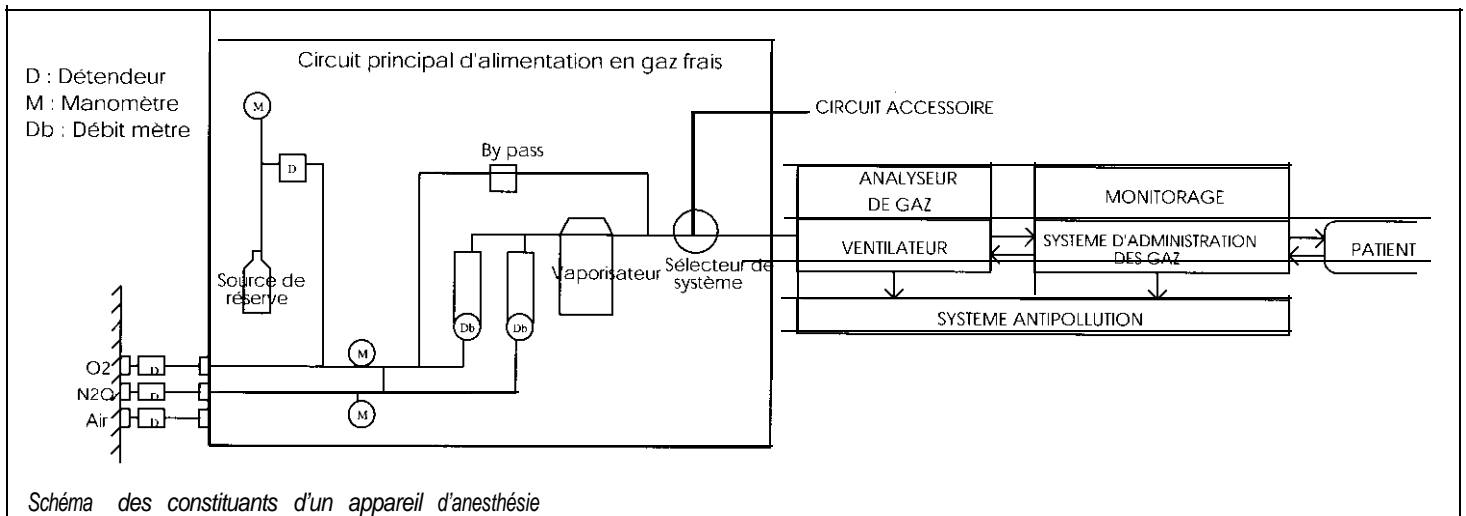


Schéma des constituants d'un appareil d'anesthésie

Figure 2

1.1 - L'anesthésie : Description, principes et définitions

1.1.3. Les différents systèmes d'administration des gaz aux patients

En fonction des éléments du circuit respiratoire, nous allons définir les systèmes couramment observés :

1.1.3.1. La ventilation par l'intermédiaire d'un masque

Anesthésie au masque

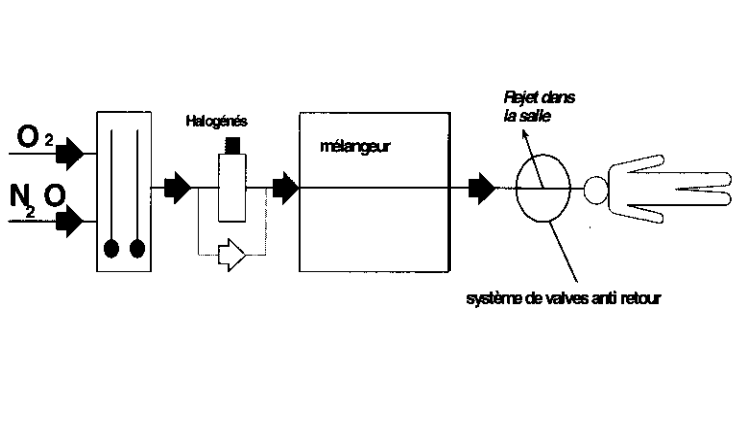


Figure 3

L'apport du mélange gazeux peut se faire selon deux modalités :

soit à l'aide du circuit accessoire : les gaz expirés sont dans ce cas rejetés dans la salle à moins que l'on utilise des masques à double enveloppe décrits dans la littérature étrangère et permettant une récupération partielle des gaz expirés (commercialisés en France par BERNER MEDICVENT®),

-soit à l'aide de l'appareil d'anesthésie en position manuelle, les gaz expirés transitent alors par la branche expiratoire, sont récupérés par l'appareil d'anesthésie et peuvent être évacués par un système d'évacuation des gaz anesthésiques (SEGA).

1.1.3.2. Le circuit sans réinhalation de gaz (circuit ouvert)

Ouvert

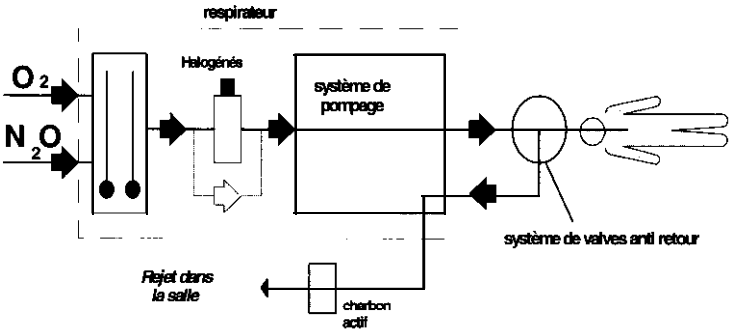


Figure 4

Le patient est intubé.

Le mélange gazeux expiré peut être soit rejeté dans la salle, soit récupéré par un SEGA présenté ci-après. Dans le cas d'un rejet dans la salle, certains ont proposé, pour réduire la pollution, de faire passer les gaz expirés à travers une cartouche de charbon actif capable de piéger les halogénés mais non le protoxyde d'azote. Il faut signaler toutefois que ces cartouches de charbon actif sont très rapidement saturées en halogénés et donc perdent leur efficacité.

1.1.3.3. Le circuit avec réinhalation à bas débit de gaz frais (circuit fermé)

Système "fermé"

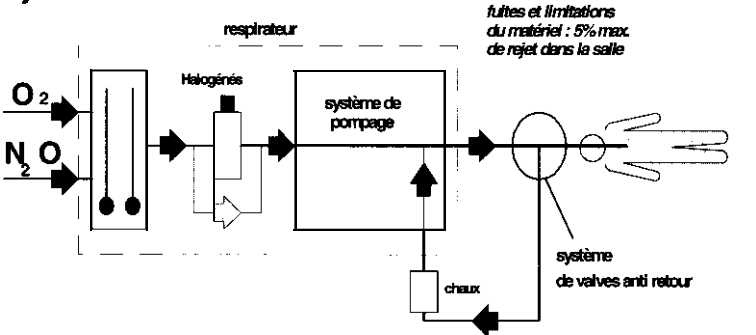


Figure 5

Dans un circuit fermé, le mélange gazeux expiré passe sur une cartouche de chaux sodée destinée à retenir le gaz carbonique rejeté par le patient. Le mélange est alors totalement recyclé. L'alimentation du circuit en gaz neuf est faible (de l'ordre de 5% des débits mis en œuvre en circuit ouvert), ce qui implique que le débit rejeté dans la salle se situe dans une fourchette de 0.3 à 1 l/min.

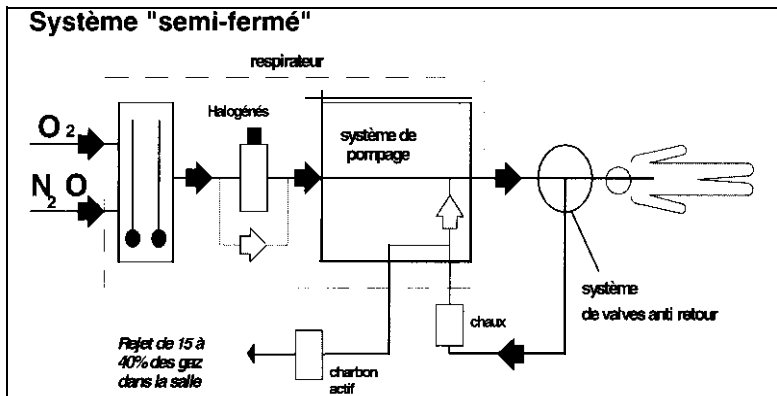


Figure 6

Entre le circuit ouvert et le circuit fermé, il existe toute une gamme d'intermédiaires utilisant des débits variables. On les **nomme** les **circuits "semi-fermés"**. Seule une partie du mélange est "recyclée" vers le circuit inspiratoire, l'autre partie (15 à 40%) est rejetée dans la salle, le plus souvent après passage sur une cartouche à charbon actif.

Le mélange gazeux expiré peut également être canalisé hors de la salle par un dispositif de captage/évacuation passif sans extraction mécanique.

1.1.3.4. Le Système d'Evacuation des Gaz Anesthésiques (SEGA)

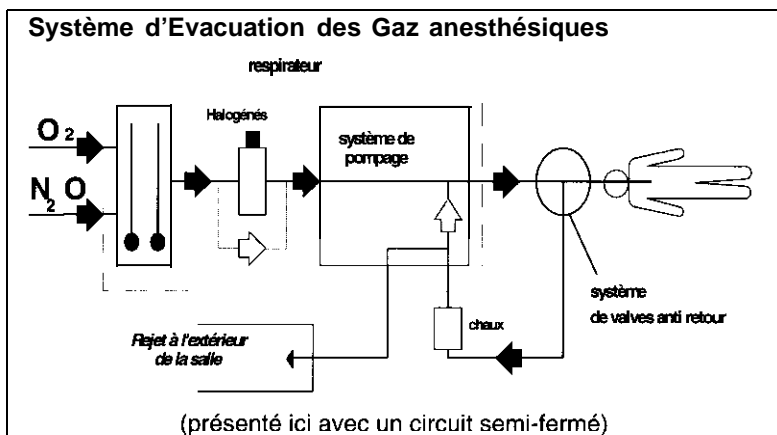


Figure 7

Le mélange gazeux expiré est canalisé hors de la salle, vers un réseau en dépression par de l'air comprimé, distinct du réseau d'air médical, par l'intermédiaire d'un dispositif à venturi.

Rappelons que le branchement sur le circuit de vide de l'établissement est interdit par la circulaire DGS/5D307 du 28 Août 1989 relative à l'évacuation des gaz anesthésiques des salles d'opération [4].

1.1.4. Avantages et inconvénients des différents systèmes en terme de pollution

L'émission des gaz halogénés et de protoxyde d'azote est environ 10 fois plus importante en circuit ouvert qu'en circuit à faible débit de gaz

frais (circuit "fermé"). Dans le cas d'une ventilation en circuit ouvert, la récupération des gaz expirés et la ventilation générale des locaux s'imposent donc avec encore plus de force que lors de l'utilisation d'un circuit fermé.

Le parc de machines d'anesthésie pouvant fonctionner en circuit fermé

représente aujourd'hui près de 60% des appareils d'anesthésie [5].

En dehors de l'installation d'un circuit d'air comprimé spécifique avec rejet extérieur, un dispositif d'évacuation des gaz anesthésiques représente un investissement inférieur à 15.000 F par site d'anesthésie.



1.2 - Les effets sur la santé

Cette exposition chronique à faible dose intéresse essentiellement le personnel hospitalier : anesthésistes, chirurgiens, infirmiers, sages-femmes, vétérinaires et, dans certains pays anglo-saxons, les chirurgiens-dentistes. L'étude de la toxicité chronique des halogénés et celle du protoxyde d'azote sont difficilement dissociables car ces composés sont généralement associés lors d'une anesthésie.

Un certain nombre de travaux ont tenté de préciser les effets sur la santé :

- ✓ effets neurologiques,
- ✓ effets sur la reproduction,
- ✓ effets cancérogènes,
- ✓ effets hépatiques, hématologiques, rénaux.

Plusieurs contraintes sont inhérentes aux études épidémiologiques à savoir des difficultés méthodologiques (cohortes rétrospectives, réponses par questionnaires et/ou interviews), des incertitudes concernant les niveaux d'exposition ou la définition des groupes témoins. Tout ceci contribue à expliquer que les résultats des travaux menés soient quelquefois contradictoires. De plus, le lien de causalité direct avec l'exposition aux gaz anesthésiques ne s'impose pas toujours compte tenu de la polyexposition professionnelle (formol, oxyde d'éthylène, rayonnements ionisants, stress, horaires de travail, posture debout prolongée...).

Notons que les travaux les plus récents ont tenté de prendre en compte ces facteurs confondants. Ils présentent une meilleure évaluation des expositions, cherchant à établir des corrélations dose effet. Ils ont eu tendance à confirmer la nécessité de respecter des valeurs seuils d'exposition professionnelle et à proposer

des indicateurs biologiques d'imprégnation pour le contrôle et le suivi de ces expositions professionnelles.

1.2.1 - Effets neurologiques et comportementaux

➤ *Effets neurologiques périphériques*

- Le mécanisme d'action à l'origine des effets médullaires et neurologiques du protoxyde d'azote est son interaction avec la vitamine B12, cofacteur de la méthionine synthétase (KOBLEN) [6,7]. L'inactivation de cette enzyme de synthèse de la méthionine conduit à une carence en méthionine et tétrahydrofolate d'où altération du métabolisme des purines et des folates. Cette toxicité est réversible par l'administration d'acide folinique (MAZZE) [8].

- A fortes doses et par interaction avec le métabolisme de la vitamine B12, le N₂O peut générer un tableau de polyneuropathie sensitivo-motrice et de myélopathie de type sclérose combinée de la moelle [9], tableau neurologique retrouvé par LAYZER [10] chez 15 professionnels (14 dentistes et 1 hospitalier) mais 13 sujets sur 15 avaient une toxicomanie déclarée au N₂O en plus de leur exposition professionnelle. Les deux sujets non toxicomanes accusaient une forte exposition : l'un à cause d'une fuite du système, l'autre travaillant sans système d'évacuation. La relation avec le N₂O fut affirmée après élimination d'une cause toxique ou métabolique, amélioration des sujets après suppression du N₂O et enfin rechute après nouvelle exposition.

- *Chez les salariés* ayant des expositions professionnelles importantes, plusieurs auteurs ont décrit des manifestations neurologiques périphériques à type de dysesthésies. COHEN, 1980 [11] montre un excès de dysesthésies et une diminution de la force musculaire chez le personnel exposé au protoxyde d'azote dans un hôpital dentaire. Cet auteur évoque un effet dose, les symp-

tômes étant d'autant plus souvent rapportés que le niveau d'exposition est élevé (de 1,8 à 4,4 fois plus fréquents). Une étude rapportée par EDLING, 1980 [12] a montré un excès de dysesthésies chez les infirmières anesthésistes. ESTRYNBEGAR, 1993 [13] recueille chez le personnel de chirurgie pédiatrique dont les expositions sont élevées (évaluées pour l'halothane à 32 ppm pour les anesthésistes et 8 ppm pour les chirurgiens et infirmières), deux fois plus de dysesthésies que chez les témoins non exposés.

➤ *Effets neurologiques centraux*

• Exposition aiguë

- *A concentration anesthésique*, ils provoquent :

- une action dépressive sur l'ensemble des centres du système nerveux central d'où une diminution des fonctions de coordination, d'éveil, vigilance, tonus musculaire, motricité,
- une diminution du métabolisme cérébral,
- une vasodilatation artérielle avec un accroissement de la pression intracrânienne,
- une diminution de l'excitabilité des neurones cérébraux hormis l'enflurane qui provoque des modifications notables de l'électroencéphalogramme,
- le protoxyde d'azote a un effet dopaminergique observé chez l'animal à 5.000 ppm mais parfois dès 50 ppm.

- *A faible dose*, le mécanisme d'action du protoxyde d'azote serait lié à son action sur les neurotransmetteurs : 50 ppm altèrent les taux d'amines biogènes au niveau central, en particulier norépinéphrine, dopamine, sérotonine (ABDUL KAREEM, 1991) [14]. Ce mode d'action a été décrit pour les solvants organiques, avec la production de métabolites intermédiaires réactifs au niveau tubéro infundibulaire et des changements endocriniens associés, tels l'augmentation de sécrétions de prolactine (ARFINI, 1987)

• Exposition subaiguë

Pour les concentrations correspondant aux expositions professionnelles, les effets sur le psychisme sont controversés.

- C'est l'étude de BRUCE et BACH [16] menée sur des volontaires *sains* démontrant une diminution des réflexes avec 50 ppm de N₂O associés ou non à 1 ppm d'halothane et l'absence d'effet à 25 ppm de N₂O qui a servi de base à la détermination des concentrations maximales admissibles aux Etats Unis, valeurs reprises par la circulaire française. Cependant, BRUCE lui-même a remis en question les résultats de ses travaux [17] et les tests de performance psychomotrice réalisés ultérieurement par les différents auteurs chez des volontaires tendent à établir une concentration maximale sans effet à 10% environ (10.000 ppm) [18,19].

- *Ainsi, d'autres travaux expérimentaux* menés chez des volontaires *sains* n'ont retrouvé des effets aigus qu'à concentration subanesthésique. C'est pour une exposition à 30 % de N₂O, soit la concentration subanesthésique administrée en dentisterie et chirurgie ambulatoire que GARFIELD, 1975 [20] observe une élévation du temps de réaction au test, un déficit de l'attention soutenue, de la mémoire immédiate, des troubles de l'humeur.

COOK, 1978 [21] ne met en évidence des déficits aux tests de réaction complexe et de mémoire immédiate que pour des concentrations de 20-30 % de N₂O ou 0,02 % d'halothane.

Selon ALLISON, 1979 [22], le début d'allongement du temps de réaction audiovisuel se situe pour une administration de N₂O comprise entre 8 % et 12 % (soit environ 100 000 ppm).

VENABLES, 1983 [23] n'obtient pas de modification des performances aux tests pratiqués chez des étudiants exposés à 50 ppm de N₂O pendant 4 heures. Cependant, l'auteur signale que lui sont rapportées,

de façon significativement plus élevée, des manifestations telles que troubles de l'humeur, impression de fatigue physique et mentale, sensation d'endormissement, soit des troubles semblables à ceux observés chez les salariés exposés à de faibles doses de solvants.

• Exposition chronique

- *Chez le personnel exposé*, SYNDER, 1978 [24] ne retrouve pas de déficit aigu réversible à partir de tests réalisés en début/fin de semaine chez des personnels exposés comparés à des témoins. Par contre, il note que les sujets contrôlés ont globalement de meilleurs résultats à l'ensemble des tests sans cependant mettre en évidence de lien étroit avec la durée d'exposition.

KORTTILA, 1978 [25] a étudié des volontaires et des salariés finlandais fortement exposés en halogénés et N₂O (moyenne ambiante de N₂O située entre 260 et 720 ppm). Si les résultats des tests sont détériorés chez les volontaires, ils sont, chez les salariés, meilleurs que les témoins. L'auteur émet l'hypothèse d'un phénomène de tolérance développé par le personnel de bloc le comparant à celui observé avec l'alcool.

Plus récemment, LUCCHINI [26, 27, 28] a réalisé des tests chez des salariés soumis à une exposition modérée (50 ppm) dont il a mesuré l'imprégnation par le dosage de N₂O urinaire. Comparés à eux-mêmes pendant une période sans exposition, il obtient d'une part des altérations au test de réaction simple du SPES (Swedish Performance Evaluation System), d'autre part une augmentation de la sécrétion de prolactine en faveur de l'activation du tonus adrénergique, évoqué précédemment et connue chez les salariés exposés aux solvants.

En France, SAUREL-CUBIZOLLES et Coll., 1992 [29] ont conduit une enquête par questionnaire et relevé des conditions de travail auprès de personnels soignants (557 exposés/566 témoins). Ils ont recueilli de

façon significativement plus fréquente la notion de fatigue et identifié la survenue d'un syndrome dit neuropsychologique à savoir le cumul d'au moins deux des trois symptômes suivants : céphalées, vertiges, ralentissement des réactions. Sa survenue est corrélée à l'intensité de l'exposition appréciée à partir de l'activité opératoire et d'un indicateur, le taux de renouvellement de l'air de la salle.

En Allemagne, HAGEMANN et Coll. [30] ont suivi 22 blocs opératoires, interrogé 102 anesthésistes et recueilli les plaintes suivantes : fatigue (68%), épuisement général (53%), irritabilité (26%), difficulté à conduire (19%), céphalées (17%), trouble de la concentration (8%).

Ils ont contrôlé la pollution pendant 200 jours et ont mesuré en pédiatrie, des niveaux d'exposition toujours supérieurs à la valeur moyenne pondérée d'halothane (5 ppm), une exposition moyenne au protoxyde d'azote de 280 ppm avec des pics supérieurs à 560 ppm. Ayant réalisé pendant 3 jours électroencéphalogrammes et débits sanguins cérébraux chez des anesthésistes, ils ont mis en évidence une augmentation croissante des ondes a dans les régions occipitales, ce, entre début et fin de poste et entre J1 et J3.

Au /es effets sur le psychisme sont controversés : de la réduction des performances psychiques et sensorielles jusqu'à l'absence d'effet démontré pour des taux moyens d'exposition en passant par de simples ralentissements des réactions psychomotrices, tout a été décrit dans la littérature, ce qui ne permet pas d'apporter une conclusion univoque mais incite à la poursuite des travaux.



1.2 - Les effets sur la Santé

1.2.2 - Effets sur la reproduction

Rappelons que près de 60 % des anomalies congénitales n'ont pas d'origine identifiée et de nombreuses équipes discutent la place des substances présentes dans l'environnement général ou professionnel dans l'apparition de certaines anomalies [31, 32, 33, 34].

Il est difficile de déterminer si l'exposition aux gaz anesthésiques a ou non des effets sur la reproduction humaine. Cette difficulté tient à plusieurs facteurs. Devant un accident de la reproduction (subfertilité, avortement spontané, malformation, mort néonatale, ...). il est toujours difficile sinon impossible d'établir un lien de causalité avec l'exposition aux agents chimiques. De plus, les effets à rechercher peuvent, pour un même gaz, varier suivant la dose et la période d'exposition par rapport au développement embryofœtal ; enfin, il faut tenir compte d'une éventuelle interaction de l'exposition professionnelle avec des facteurs génétiques et/ou environnementaux d'autres sources. Ainsi, pour analyser le risque d'avortement spontané faudra-t-il tenir compte par exemple de l'âge de la mère, de sa consommation de tabac (qui augmente le risque de 80% [35]) et de sa consommation d'alcool (3 verres de vin par jour augmente le risque de 250% [36]). Enfin, lorsqu'on étudie les fausses-couches spontanées, il faut être sûr de pouvoir tenir compte des I.V.G., qui sont parfois signalées comme des fausses-couches par les personnes interrogées.

L'observation de VAISMAN, en 1967 [37], d'un excès d'avortements spontanés dans un groupe de femmes anesthésistes a eu le mérite d'attirer l'attention sur la présence dans ce milieu d'agents potentiellement dangereux : les gaz anesthésiques, mais aussi divers types de solvants, et les rayons X. Au moins douze études ont été conduites par la suite, dans divers pays, qui suivaient le plus souvent la même méthodologie : cohorte rétrospective, investigation des expositions professionnelles et

des issues de grossesse par questionnaire. Neuf sur douze trouvent un risque significativement augmenté d'avortements spontanés par rapport à une population témoin (de 1,2 à 3,7), quatre montrent également un excès de malformations congénitales (de 1,2 à 4,2).

La méthodologie de ces études a été discutée par TANNENBAUM [38]. Cependant, les études plus récentes, sauf celle de SCHENKER [39], mettent en évidence un risque de 1,2 à 2,9 pour les avortements spontanés, quatre études sur cinq montrent un accroissement du risque de malformations congénitales.

L'analyse de ces résultats semble donc suggérer qu'il existe ou qu'il existait dans l'environnement des femmes exposées professionnellement aux gaz anesthésiques, des substances (anesthésiques, formol, rayons X) ou des conditions de travail (stress, station debout prolongée) susceptibles d'entraîner un accroissement du risque d'avortement spontané et peut être de malformation congénitale. Ceci doit être pondéré par le fait que l'historique obtenu par questionnaire est sensible au biais de mémorisation et que les résultats sont le reflet d'une exposition passée éventuellement différente de la situation actuelle.

Une étude cas-témoins (2 groupes de 100 salariés) conduite sur les risques périnataux des personnels des blocs opératoires a retrouvé une fréquence plus élevée d'avortements spontanés précoces chez les salariés exposés, constatant également des contraintes physiques et un tabagisme un peu plus important [39bis].

ROWLAND [40] a réalisé une enquête par questionnaire auprès de 7000 assistantes dentaires âgées de 18 à 39 ans en Californie. Il a mis en évidence une diminution de la fertilité uniquement chez les femmes exposées à des concentrations élevées de N_2O estimées à 500 ppm et des durées d'exposition de 5 heures et plus par semaine.

De même, il signale une augmentation du risque d'avortement spontané

(RR = 2,6 [1,3-5,0]) pour les femmes exposées au N_2O 3 heures ou plus par semaine dans des locaux non équipés de dispositif de captage [41].

L'étude rétrospective menée en 1987-1988 par questionnaire par SAUREL-CUBIZOLLES [13, 42] auprès de 85 % du personnel des blocs de 17 hôpitaux parisiens appariés à des soignants ne travaillant pas en bloc, a porté sur l'ensemble de la vie génitale des infirmières ayant eu leur première grossesse après 1970.

Le travail au bloc, l'exposition au formol, aux anesthésiques, aux radiations ionisantes pendant le premier trimestre de chaque grossesse ont été relevés sans possibilité de quantification.

Il est apparu que les avortements spontanés ont été 1,9 fois plus fréquents (intervalle de confiance 1,1-3,5) chez les femmes travaillant au bloc et 2,6 fois plus fréquents (intervalle de confiance 1,3-5,2) chez celles ayant cumulé les 3 expositions, après ajustement sur l'âge, l'histoire obstétricale et la consommation de tabac.

AXELSSON [43] a adressé à 3158 sages-femmes, un questionnaire sur leurs grossesses et leurs expositions professionnelles. Si, vis-à-vis de l'exposition au N_2O , le risque d'avortement spontané n'est pas apparu (1,1[0,8-1,5]), le ratio de fécondabilité, à savoir la comparaison des taux de survenue d'une grossesse désirée lors d'un cycle entre exposées (plus de 30 accouchements avec N_2O /mois, soit 5 h d'exposition/mois) et non exposées est égal à 0,6 [0,4-0,9] soit significativement plus faible.

KLEBANOFF [44] a étudié la survenue des avortements chez 5096 internes en médecine femmes. Si la probabilité de survenue d'un avortement spontané est de 15% (sur 1284 grossesses recensées), c'est chez les internes en anesthésie qu'elle est la plus élevée (25,5% des 52 grossesses signalées). Ce constat décrit donc un risque 1,6 fois plus élevé chez cette catégorie de médecin. Vu l'absence de questionnaire professionnel associé, on ne

peut cependant l'attribuer aux gaz anesthésiques.

La limite de ces études est que, si elles mettent en évidence un risque, elles ne permettent pas, avec certi-

tude, un lien de causalité entre exposition aux substances anesthésiques et troubles de la reproduction. Rappelons également la difficulté de mettre en évidence un risque accru de survenue d'anomalies congénitales. Ainsi, pour mettre en évidence

le doublement de l'incidence d'une anomalie telle que l'anencéphalie dont l'incidence est de 1 cas pour 1000, il faudrait suivre une population de 23.000 femmes enceintes.

ETUDE SUR L'ASSOCIATION ENTRE EXPOSITION PROFESSIONNELLE MATERNELLE AUX GAZ ANESTHESIANTS ET AVORTEMENTS SPONTANES OU ANOMALIES CONGENITALES

d'après S. CORDIER - J. GOUJARD (1993)

PAYS	AUTEUR (Année) [Référence]	POPULATION	EXPOSITION	Avortements spontanés RR [IC 95%]	Malformations congénitales [IC 95 %]	RF = Ratio de fécondabilité [IC 95%]
Russie	VAISMAN (1967) [37]	354 anesthésistes	Halothane Protoxyde d'azote Ether			
Danemark Grande Bretagne Etats-Unis	12 études entre 1970 et 1982 TANNENBAUM (1985) [38]	Infirmières Médecins anesthésistes ou Dentistes		9 études positives sur 12 RR = 1,2 à 3,7	4 études positives sur 12 RR = 1,2 à 4,2	
Finlande	HEMMINKI (1985) [45]	263 infirmières «cas» 789 infirmières "témoins"	Gaz anesthésiques	OR = 1,2 [0,7-2,4]	OR = 1,2 [0,3-4,6]	
Etats-Unis	JOHNSON (1987) [46]	Vétérinaires (N = 1914)	Protoxyde d'azote (Rayons X)	RR = 2,9 [0,9-9,5]	RR = 0,3 [0,1-0,9]	
Canada	GUIRGUIS (1990) [47]	Personnel hospitalier 8032 exposées 2525 non exposées	Halothane Protoxyde d'azote	RR = 2,0 [1,5-2,6]	RR = 2,2 [1,7-3,0]	
Etats-Unis	SCHENKER (1990) [39]	Vétérinaires (N = 537)	Anesthésiques+ Rayons X	RR = 0,9 [0,7-1,3]	RR = 4,2 [1,2-15,1]	
France	SAUREL CUBIZOLLES (1994) [42]	Infirmières 418 <(exposées)> 418 non exposées	Bloc opératoire (627 grossesses) Anesthésiques + Formol+RayonsX	RR = 1,9 [1,1-3,5] RR = 2,6 [1,3-5,2]	RR = 1,4 [0,6-3,6] RR = 3,5 [1,2-10,2]	
USA	ROWLAND (1992) [40]	7000 assistantes dentaires interrogées Suivi restropectif de la fertilité de 396 femmes	Protoxyde d'azote . 215 non exposées 162 exposées avec extraction ou sans extraction et < 5 h sem. . 19 exposées sans extraction > 5 h/sem.			. Pas d'effet significatif . Baisse de fertilité RF = 0,41 [0,23-0,74]
	ROWLAND (1995) [41]	7000 assistantes dentaires. Suivi rétrospectif de 1465 grossesses	Protoxyde d'azote . 913 exposées sans extraction et ≥ 3 h/sem.	RR = 2,6 [1,3-5,0]		
Suède	AXELSSON (1994) [43]	3358 sages-femmes	Protoxyde d'azote pour 50% des accouchements soit ≈ 5 h/sem. Horaires postés	RR = 1,13 [0,83-1,54]		RF = 0,6 [0,4-0,9]
JSA	KLEBANOFF (1991) [44]	5096 internes en médecine . Internes en anesthésie		14,8% (pour 1284 grossesses) 25,5% (pour 52 grossesses)		
RR = risque relatif		OR = odds ratio				

Tableau 2



1.2 - Les effets sur la Santé

Très récemment, une méta-analyse des 24 études épidémiologiques relatives aux effets de l'exposition professionnelle à des gaz anesthésiques sur la reproduction publiées en langue anglaise entre 1971 et 1995 vient d'être réalisée par le Conseil d'Evaluation des Technologies de la Santé au Québec [48, 48bis]. Le risque relatif global obtenu est de 1,51 (1,42-1,61) et augmente à 1,81 lorsqu'on sélectionne les 7 études épidémiologiques ayant les cotes de validité les meilleures. Le risque d'avortement étant d'environ 15% dans la population générale, le risque relatif de 1,5 correspond à une augmentation absolue du risque d'avortement chez les femmes de 7,5%. Ce risque relatif a également été estimé pour certaines professions ; les risques relatifs étant plus élevés pour les assistants dentaires (1,89 [1,7-2,1]), les vétérinaires et les assistants vétérinaires (2,45 [1,2-5,021] que pour le personnel hospitalier (1,32[1,22-1,441]).

- Les études expérimentales menées chez l'animal complètent ces données épidémiologiques. De nombreux travaux ont tenté d'évaluer le pouvoir tératogène du N₂O, travaux dont les résultats sont quelquefois discordants.

Selon, SHNIDER et LEVINSON [51], ce risque existe de façon certaine chez l'animal dans des conditions extrêmes d'exposition qui ne sont pas celles rencontrées lors de son utilisation thérapeutique contrairement à ce que retrouve FUJINAGA [49].

Les études de toxicité sur la reproduction menées chez les rats exposés au N₂O indiquent un risque maternel (diminution de la croissance), foetal (résorption, trouble de l'ossification) et tératogène (anomalies du squelette, malformations internes et dysmorphées). Les rats ont une diminution du nombre des spermatozoïdes, des effets dans la descendance (foetus de petit poids et petite taille) et, pour des expositions plus élevées, des at-

teintes des tubes seminifères. Le comité d'experts néerlandais pour l'étude d'une valeur limite du N₂O rapporte chez l'animal une concentration maximale sans effet égale à 800 ppm (exposition 6 h/j, 5 j/semaine, de J1 à J 19)[19].

Les études épidémiologiques fournissant peu d'indications sur les niveaux d'exposition, c'est donc à partir de ces données d'expérimentation animale et en introduisant un facteur de sécurité de 10 pour prendre en compte les différences inter espèces [50] que la valeur moyenne recommandée pour 8 h de travail a été adoptée à 80 ppm par le comité d'experts néerlandais [19].

Au total, bien que ces études ne soient pas exemptes de critiques, l'ensemble de ces données peut conduire à suspecter une nocivité des anesthésiques sur la reproduction et nous incite à veiller à une maîtrise des expositions professionnelles.

1.2.3 - Génotoxicité et cancérogène

- L'IARC, en 1987, (International Agence For Research on Cancer), a déclaré que les preuves de carcinogénicité du N₂O chez l'homme sont insuffisantes.

Quant aux halogénés, leur pouvoir cancérogène a fait l'objet de nouveaux travaux expérimentaux qui ont écarté l'existence d'un risque.

Le protoxyde d'azote est utilisé expérimentalement à fortes doses pour augmenter les effets de produits anticancéreux, ses propriétés antifolates ont été utilisées chez des malades leucémiques [51].

Le Comité d'experts néerlandais, pour l'étude d'une valeur limite du N₂O, rapporte en exposition aiguë des effets immunotoxiques chez la souris, la concentration limite sans effet étant évaluée entre 512 et 9120 ppm [19].

- Quelques études récentes menées chez des salariés fortement exposés ont rapporté des anomalies :

- une augmentation significative du taux d'aberrations chromosomiques dans les cellules urinaires (LAMBERTI, 1989) [52],

- une excrétion plus élevée de thioéthers (PASQUINI, 1990) [53],

- une augmentation des aberrations chromosomiques et des échanges de chromatides soeurs dans les cellules périphériques (NATARAJAN 1990 [54], KARELOVA, 1992 [55]), les salariés travaillant dans des blocs sans aspiration des gaz.

Les quelques études menées chez des salariés exposés et publiées à ce propos restent prudentes, contradictoires, et ne permettent pas de conclure définitivement. On peut toutefois noter que les quelques résultats positifs ont été généralement obtenus chez les salariés dont les niveaux d'exposition étaient très élevés.

1.2.4 - Effets sur le système hématopoïétique

Les travaux menés chez les sujets exposés professionnellement n'ont pas mis en évidence de perturbations hématologiques hormis SWEENEY [56] qui a étudié les conséquences hématologiques de l'utilisation par 21 dentistes du N₂O comme analgésique.

Tous avaient une exposition au N₂O élevée de (159 à 4600 ppm) - trois d'entre eux avaient un test de dés-oxuridine - suppression (DU test) pathologique, test témoignant d'une anomalie de la synthèse médullaire d'ADN dépendant de la vitamine B12 et des folates. Chez ces trois sujets existaient des anomalies sanguines périphériques et médullaires, il est précisé qu'il n'existait pas de cause extra professionnelle d'atteinte hématologique.

1.2.5 - Risque hépatique

• **Les atteintes hépatiques** sont essentiellement dues à l'**halothane** potentialisé par le protoxyde d'azote même si quelques cas d'hépatites toxiques chez le personnel soignant ont été décrits avec l'**isoflurane**.

• En France la **toxicité hépatique** d'halothane a donné lieu en 1989 à la création du **tableau 89 des maladies professionnelles**, indemnisant les hépatites provoquées par l'halothane.

Durant les années 1990-1992, seuls deux cas ont fait l'objet d'une reconnaissance avec paiement total de 63 jours d'indemnités journalières.

• **Le mécanisme toxique** de l'halothane a été étudié **chez les patients** ; deux causes essentielles apparaissent :

- d'une part, métabolisé à 30% par le foie, l'halothane est un inducteur enzymatique, producteur de radicaux libres par le cytochrome P 450 [57, 58]. Il semble que 19 ppm soit le seuil minimum d'exposition pour le développement d'une induction enzymatique. Ainsi, des perturbations hépatiques discrètes surviennent chez 20 à 50% des sujets anesthésiés [59].

- d'autre part, par mécanisme immunologique, il peut être à l'origine d'hépatites toxiques. Susceptibles dans un cas sur deux d'évoluer en hépatites fulminantes mortelles, elles évoluent exceptionnellement vers la chronicité [60, 60bis].

- De plus, interviendraient également une prédisposition génétique et un mécanisme d'hypoxie [61, 62].

• **Pour le personnel soignant**, si les premiers travaux épidémiologiques avaient mis en évidence un risque global de surmorbidity hépatique qui semblait être le double de celui de la population générale [63, 64] ou plus récemment un risque de surmortalité par affection hépatique relative par rapport aux autres médecins spécialistes [64bis], les études plus récentes [65, 66] n'ont

pas retrouvé d'augmentation significative des transaminases dans les groupes exposés. Seule une légère augmentation des ASAT a été observée en milieu de chirurgie pédiatrique par ESTRYN-BEHAR [13] où les niveaux d'exposition à l'halothane sont les plus élevés [67].

Le dosage des anticorps anti halothane est possible en France (Service de Réanimation du Professeur MAILLEDANT, CHU Pont Chailloux, Rennes).

***Au total**, il semble que l'incidence de survenue des atteintes hépatiques soit peu fréquente mais réelle, et le risque potentiel au moins en partie lié aux niveaux d'exposition reste grave nécessitant souvent un changement d'activité.*

1.2.6 - Effet sur le système rénal

Les études épidémiologiques n'ont jamais permis de mettre en évidence une surmorbidity par atteinte rénale [63, 64, 59] avec les produits utilisés actuellement, mais l'emploi d'un agent halogéné a été suspendu en France pour cette raison (méthoxyflurane).

1.2.7 - Effets sur l'environnement

N_2O est un composé ubiquitaire car il résulte des processus naturels qui se déroulent dans le sol. Toutefois, il n'est pas, autant qu'on sache, impliqué dans des réactions au sein de la stratosphère. Dans la haute atmosphère, N_2O participe à des réactions qui contribuent à la réduction de la couche d'ozone stratosphérique ($N_2O + O \rightarrow 2NO$) et c'est également un gaz à puissant effet de serre qui intervient dans le réchauffement général du climat, absorbant fortement les radiations ondes longues [62bis].

1.3 - Repères réglementaires

1.3.1 - Les principes généraux de prévention

Nous les présentons rapidement ici ; ils sont développés dans les articles L 230.1 et suivants du Code du Travail. L'objectif est, pour le chef d'établissement, d'assurer la sécurité et la santé des travailleurs de l'établissement en adoptant les principes généraux suivants :

- a) Eviter les risques.
- b) Evaluer les risques qui ne peuvent pas être évités.
- c) Combattre les risques à la source.
- d) Adapter le travail à l'homme (conception des postes de travail, choix des équipements de travail, des méthodes de production...).
- e) Tenir compte de l'état d'évolution de la technique.
- f) Remplacer ce qui est dangereux par ce qui n'est pas dangereux ou ce qui est moins dangereux.
- g) Planifier la prévention en y intégrant, dans un ensemble cohérent, la technique, l'organisation du travail, les conditions de travail, les relations sociales et l'influence des facteurs ambiants.
- h) Prendre des mesures de protection collective en leur donnant la priorité sur les mesures de protection individuelle.
- i) Donner les instructions appropriées aux travailleurs.

...
L'évaluation des risques consiste à :
- identifier la nature des risques et en faire le recensement,
- évaluer les situations d'exposition.
Il peut être parfois souhaitable de prendre la décision d'améliorer la situation avant même d'effectuer des mesures (captage à la source des polluants, changement de procédé...). Il est possible aussi de quantifier la situation en réalisant des prélèvements. L'article R 231-54-6 introduit alors la notion de **conformité aux valeurs limites** d'exposition (indicatives et réglementaires).

1.3.2 - Les valeurs limites d'exposition professionnelles recommandées

La notion de valeur limite d'un composé chimique définie dans une circulaire de Juillet 1982 représente sa concentration dans l'air que peut respirer une personne pendant un temps déterminé sans risque d'altération pour sa santé, même si des modifications physiologiques réversibles sont parfois tolérées. Aucune atteinte organique ou fonctionnelle de caractère irréversible ou prolongé n'est raisonnablement prévisible.

Toutefois, l'expérience montre que

de nouvelles pathologies continuent d'être découvertes.

De plus, la fixation des valeurs limites intègre non seulement des critères scientifiques et techniques, mais également sociaux et économiques voire psychologiques. Tous ces critères sont évolutifs ; les valeurs limites le sont donc également.

C'est pourquoi, les valeurs limites sont considérées comme des objectifs minimaux. Il convient surtout que les pratiques retenues visent à abaisser les niveaux d'exposition à des valeurs aussi basses que raisonnablement possible [68].

Valeurs limites	N ₂ O (ppm)	Halothane (ppm)	Enflurane-Isotrurane (ppm)
FRANCE(*) (1985)	25	2 (environ 16 mg/m ³)	2 (environ 15 mg/m ³)
USA ⁽²⁾ . NIOSH (1977)	25	2 0,5 en présence de N ₂ O	2 0,5 en présence de N ₂ O
USA ⁽³⁾ . ACGIH (1990)	50	50	75
ITALIE ⁽⁶⁾ (1989)	100 (50)		
SUEDE (1990)	100	5	10
DANEMARK (1988)	100	5	2
NORVEGE (1991)	100	5	2
ALLEMAGNE ⁽⁴⁾ (1994)	80	5 ⁽⁵⁾	10
QUEBEC (1995)	50	50	75

(*) Valeur recommandée par la Commission Française d'Anesthésiologie et transcrite par une circulaire du Ministère de la Santé. Cette circulaire DGS/3A/667 bis du 10 octobre 1985 stipule que les salles où se font des anesthésies, 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 ;
- à moins de 2 ppm pour les halogénés."

(2) Valeurs recommandées par le National Institute of Occupational Safety and Health (Organisme officiel des USA pour l'hygiène industrielle).

(3) Valeurs recommandées par l'American Conference of Governmental Industrial Hygiene (Association américaine de droit privé). Ce sont des valeurs TLV (Threshold Limit Value), valeurs limites moyennes pondérées sur 8 heures par jour et 40 heures par semaine. Les expositions de courte durée ne doivent pas dépasser 3 fois la valeur TLV ni totaliser plus de 30' sur la journée de travail.

(4) Valeur MAK (Maximale Arbeit Splatz Konzentration). Cette concentration maximale admissible est la valeur moyenne pondérée sur une journée de travail (8h/j . 40h/semaine) établie par la Commission pour l'étude des substances dangereuses pour la santé sur le lieu de travail, publiée par le Ministère du Travail sous forme de circulaire. De plus, les pics doivent être inférieurs à 2 fois la valeur MAK, avoir une durée maximale de 30' et se produire au maximum 4 fois par jour [69].

(5) Il a été classé groupe "B" (un endommagement de l'embryon n'est pas exclu si on maintient cette valeur MAK).

(6) En Italie, il n'y a que des valeurs indicatives pour le protoxyde d'azote : 100 ppm pour les salles d'opération comportant d'anciennes installations techniques et 50 ppm en tant qu'objectif pour les salles d'opération nouvelles ou renouvelées.

tableau 3

Sur le tableau précédent sont résumées les valeurs recommandées en France et quelques pays étrangers, valeurs indicatives sauf en Allemagne où elles ont le caractère de norme obligatoire.

Il faut noter que la **circulaire française** [70] a retenu le contrôle du protoxyde d'azote pendant la phase d'entretien tandis que les autres pays ont établi des valeurs moyennes pondérées sur 8 h, conformément aux pratiques conventionnelles.

De plus, elle stipule que la **commission locale de surveillance**, dont le pharmacien et le chef de service d'anesthésie font partie, en liaison avec le Comité d'Hygiène et de Sécurité, doit s'assurer de la réalisation des mesures assurant le contrôle de pollution, le rôle du praticien d'anesthésie étant plus particulièrement chargé de la vérification des installations et de la formation du personnel.

1.3.3 - L'aération et l'assainissement des locaux de travail

• Le Code du Travail **définit clairement la ventilation** comme "la mise en oeuvre de dispositifs assurant le captage puis l'évacuation ou la rétention des polluants émis à chaque poste de travail et l'épuration de l'air, complétés par la ventilation générale".

Les locaux dans lesquels sont utilisés des produits anesthésiques sont des locaux dits "à pollution spécifique".

• La réglementation **précise les priorités** :

▪ **suppression des émissions de substances insalubres, gênantes ou**

dangereuses par l'utilisation de nouvelles techniques de production.

- **captage au plus près des sources d'émission de la totalité des polluants, à chaque fois que cela est techniquement possible**, épuration avec rejet et/ou recyclage. L'air provenant d'un local à pollution spécifique ne peut être recyclé qu'après épuration et dans un local dont la pollution est de même nature.

- **dilution et évacuation des polluants par la ventilation générale.**

• La réglementation du Code du Travail (Articles R 232.5 à R 232.514 et articles R 235 à R 235.2.8) définit **les obligations du maître d'ouvrage et du chef d'établissement** que l'on peut résumer dans le tableau ci-après.

- **En cas d'installation nouvelle**, le dossier d'installation doit comporter une **notice d'instruction** établie par le maître d'ouvrage, notice qui comporte le **descriptif des installations** et le **dossier des valeurs de référence**.

- **Pour toute installation**, le chef d'établissement doit établir puis tenir à jour le **dossier d'installation** tenu à la disposition des partenaires sociaux et préventeurs institutionnels. Celui-ci contient, d'une part, **une consigne d'utilisation**, guide pratique de maintenance établi à partir des données fournies par le maître d'ouvrage dans la notice d'instruction et, d'autre part, **des valeurs de référence** qui caractérisent ces installations nouvelles.

La consigne d'utilisation doit permettre de suivre les performances de l'installation de ventilation et peut mettre en évidence des écarts par rapport aux valeurs de référence. Elle doit porter sur tous

les organes sensibles cités dans la notice d'instruction et préciser à la fois les paramètres de référence et la conduite à tenir en cas de panne ou de dysfonctionnement. Elle doit inclure :

• Pour les installations de ventilation générale :

- le débit d'air neuf assuré pour chaque local (pour les blocs : 15 volumes/heure minimal, cf. p 46),
- les informations permettant leur conduite et leur entretien,
- pour les installations avec recyclage, l'efficacité de l'épuration et les méthodes de contrôle de cette efficacité.

• Pour les installations de captage localisé :

- l'efficacité du captage ou à défaut le débit d'air extrait,

• En cas de panne :

- les mesures visant à l'arrêt de la production des polluants,
- ou à défaut les mesures de sauvegarde.

• Le chef d'établissement doit **s'assurer** que les caractéristiques de l'installation de ventilation sont adaptées à l'activité du local et qu'elle permet **d'assurer la salubrité de l'air de sorte** que les **concentrations en polluants** ne soient dangereuses en aucun point pour la santé et la sécurité des travailleurs et qu'elles restent inférieures aux valeurs limites fixées.

• Il est de sa responsabilité de **maintenir** l'ensemble des installations en bon état de fonctionnement et d'en assurer régulièrement le **contrôle**.

1.3 - Données sur l'exposition professionnelle

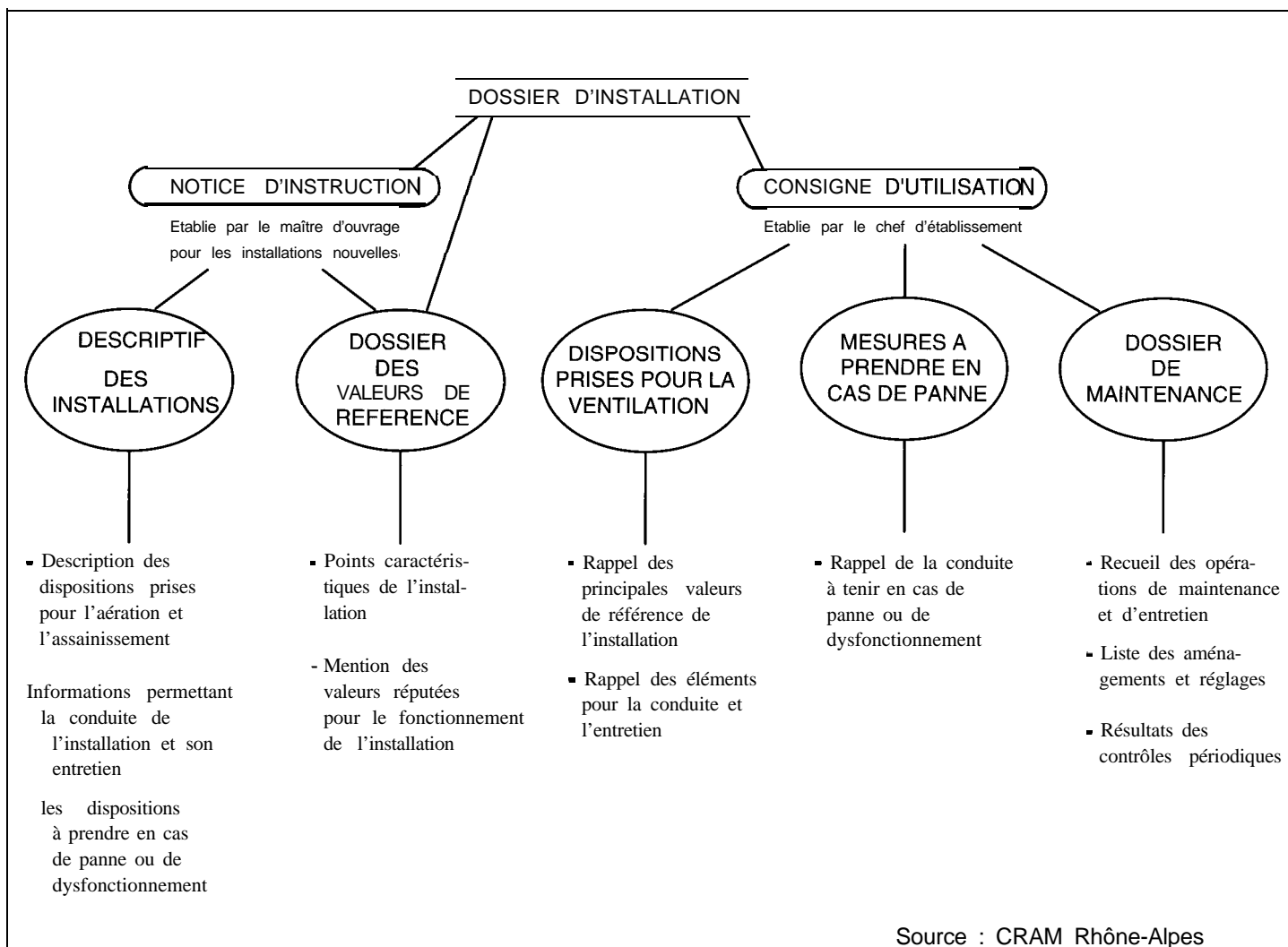


Tableau 4

1.3.4 - Les dispositifs médicaux

Les dispositifs médicaux font désormais l'objet d'une **définition** (article R. 665-1 - Livre V bis du Code de la Santé Publique) et d'une **classification** (Annexe IX du décret N° 95-292 du 16 Mars 1995).

Ainsi, sont définis dispositifs médicaux tous les dispositifs destinés à être utilisés à des fins :

- 1°- De diagnostic, de contrôle, de traitement ou d'atténuation d'une maladie.
- 2°- De diagnostic, de contrôle, de traitement, d'atténuation ou de compensation d'une blessure ou d'un handicap.

3°- D'étude, de remplacement ou de modification de l'anatomie ou d'un processus physiologique.

4°- De maîtrise de la conception.

Les accessoires des dispositifs médicaux sont traités comme des dispositifs à part entière.

Ces dispositifs médicaux doivent répondre à des exigences essentielles (Cf. annexe 1 du décret) de sécurité et de performance.

Les dispositifs médicaux doivent faire l'objet de **procédures de certification de sécurité ou de déclaration de conformité** (système complet d'assurance qualité) dans l'un des états membres pour obtenir le **marquage CE** (marquage commu-

nauté européenne), véritable passeport technique qui ouvre les portes des autres états membres.

Ce sont des organismes habilités - "organismes notifiés" - désignés par les états membres de l'union européenne qui effectueront cette validation technique. L'organisme habilité français est le groupement pour l'évaluation des dispositifs médicaux (G-MED).

Les dispositifs médicaux sont répartis entre quatre classes : 1, IIa, IIb et III.

En cas de litige sur l'application des règles de la classification entre le fabricant d'un dispositif et un organisme habilité intervenant dans les procédures de certification de

conformité, le ministre chargé de la santé détermine la classe dont relève le dispositif en cause (article R 665-6 du CSP).

La procédure de classement induira probablement les classements suivants :

- les dispositifs de ventilation pour l'évacuation des gaz du bloc opératoire en classe 1,
- les dispositifs invasifs liés à la ventilation et l'administration des gaz et vapeurs anesthésiques du patient en classe IIB,
- les dispositifs non invasifs liés à la ventilation et l'administration des gaz et vapeurs anesthésiques du patient en classe IIA.

La procédure d'évaluation examine toutes les caractéristiques pertinentes y compris celles relatives à la sécurité, aux performances du dispositif et aux effets sur le patient.

Dans la **déclaration CE** de conformité exigée pour les dispositifs de classe 1 telles les installations de ventilation générale, la documentation technique doit comprendre les résultats de l'analyse des risques ainsi que les normes appliquées partiellement ou totalement et une description des solutions adaptées pour satisfaire aux exigences essentielles du présent décret lorsque les normes n'ont pas été appliquées entièrement.

Les dispositifs médicaux qui satisferont aux normes les concernant seront présumés conformes aux exigences essentielles mentionnées à l'article R 665.12.

Pendant une période transitoire du 1^{er} Janvier 1995 au 14 Juin 1998, devront être achetés et utilisés les dispositifs médicaux conformes à la réglementation française ou ceux portant le marquage CE (hormis les dispositifs médicaux implantables actifs pour lesquels le marquage CE est exigé à compter du 1^{er} Janvier 1995).

Après cette période transitoire, seuls ceux qui porteront le marquage CE pourront être mis sur le marché.

Notons que la première exigence essentielle indique que les dispositifs doivent être conçus et fabriqués de telle manière que leur utilisation ne compromette pas l'état clinique et la sécurité des patients ni la sécurité et la santé **des utilisateurs** ou d'autres personnes lorsqu'ils sont utilisés dans les conditions et aux fins prévues. Les risques éventuels liés à leur utilisation doivent constituer des risques acceptables au regard du bienfait apporté au patient et compatibles avec un niveau élevé de protection de la santé et de la sécurité.

Citons également le **système national de matério-vigilance** (Décret N° 96.32 du 15 Janvier 1996, J.O. du 17 Janvier 1996) qui a pour objet la surveillance des incidents ou risques d'incidents, système s'organisant à l'échelon national (commission nationale) et local (correspondants locaux).

Ce système concerne tous les dispositifs médicaux notamment ceux mis en oeuvre lors de l'anesthésie et permettra de mieux tracer les éventuels incidents, contribuera à valider la fiabilité y compris ceux facilitant l'évacuation des gaz médicaux.

Enfin, les matériels et dispositifs médicaux doivent faire l'objet, conformément à l'arrêté du 3 Octobre 1995 (J.O. du 13 Octobre 1995), d'un contrôle lors de leur première mise en service, d'une maintenance et d'un entretien périodiques et programmés par un personnel qualifié, les modalités et les résultats étant consignés dans un document.

1.4 - Evaluation des expositions professionnelles

1.4.1 - Données de la littérature

Nous avons analysé une vingtaine de publications qui ont évalué l'exposition aux produits anesthésiques de certaines professions ou des blocs opératoires en différenciant parfois les activités ou les catégories de personnel.

D'autres travaux ont développé des évaluations plus globales sur plusieurs hôpitaux voire des programmes de maîtrise de la qualité de l'air.

► Des professions exposées

• **Les anesthésistes** ont une exposition plus élevée que le reste du personnel. Plusieurs travaux l'ont mis en évidence [30, 67, 71, 72, 73]. **TRAN [74]** au **Canada** estime qu'elle est d'environ le double de celle des infirmières. Il conclut que la stratégie de mesure satisfaisante pour évaluer l'exposition du personnel est la mesure du N_2O chez les anesthésistes. Lui-même a utilisé un dosimètre passif de N_2O (**LANDLAUER**) non commercialisé en France. Il a relevé dans des blocs disposant d'une ventilation générale, voire d'extractions localisées, des valeurs d'exposition au N_2O supérieures à 50 ppm dans 4 blocs sur 12.

• **En pédiatrie**, les anesthésies sont souvent de courte durée, répétées, réalisées au masque avec induction à l'halothane, au sévoflurane et au N_2O . On y retrouve des niveaux d'exposition particulièrement élevés. **WOOD [73]** au **Canada** et **HAGEMAN [30]** en **R.F.A.** ont mesuré des valeurs moyennes dépassant 500 ppm chez les anesthésistes, environ 2 fois plus élevées pour les anesthésistes que pour le reste du personnel (300 ppm). **WOOD**

note des valeurs moyennes à 130 ppm de N_2O lorsque les inductions sont réalisées en intraveineux [73].

• **Les sages-femmes**, dans certains pays utilisent les propriétés analgésiques du protoxyde d'azote et l'administrent au masque aux parturientes, bien que, comme **CARSTONIU [75]** le montre dans une étude récente, aucune efficacité ne soit clairement démontrée lorsque le mélange N_2O/O_2 est de 50/50 (**Entonox**®).

Cette pratique existe dans certains établissements en France. Les locaux en général ne sont équipés ni d'une ventilation générale, ni d'un dispositif d'aspiration. **MUNLEY [76]**, en Grande-Bretagne, a évalué l'exposition individuelle des sages-femmes dans 4 hôpitaux et a mesuré des taux moyens compris entre 100 et 360 ppm mais également des valeurs 2,5 fois moins importantes en cas d'utilisation d'un système d'extraction localisée.

• **Les dentistes** aux Etats-Unis utilisent le N_2O notamment chez l'enfant. Il s'agit d'expositions courtes et répétées. **SHIP [77]** et **BAIRD [78]** ont mesuré les taux moyens de N_2O sur 8 heures dans 4 cabinets dentaires. L'un et l'autre notent qu'il existe rarement des dispositifs d'aspiration. Pour **BAIRD**, l'exposition moyenne sur 8 heures est d'environ 100 ppm. Pour **SHIP**, sur 23 cabinets dentaires, la moyenne est 36 ppm, 40% ont des valeurs supérieures aux 25 ppm. **HENRY [79]**, en Chirurgie Dentaire, a vérifié que l'utilisation d'un système d'évacuation des gaz expirés réduit la pollution de 30 à 50% (24 ppm en moyenne sur 8 heures).

• **Les vétérinaires** ont une exposition fréquente et les niveaux mesurés sont élevés. **WIGGINS [80]** a mené une étude chez 462 femmes vétérinaires en Californie ; parmi celles travaillant auprès des petits animaux (74% d'entre elles), 94% utilisent des gaz anesthésiques,

sans dispositif de captage dans 27% des cas. Il signale également que 90% sont exposés aux rayons X (sans port de badge dans 41% des cas, avec maintien manuel des animaux dans 76% des cas) et 57% aux pesticides.

GARDNER (Grande-Bretagne) [81] a mesuré dans 14 cliniques vétérinaires les niveaux moyens (TWA) durant les périodes d'utilisation des gaz obtenant une moyenne de 2,6 ppm [0,5-19 ppm] pour le halothane et 100 ppm [5-230 ppm] pour le N_2O . Une seule utilisait un dispositif actif de captage des gaz, 6 un dispositif passif souvent bricolé. Toutefois, les durées quotidiennes d'exposition variant de 1 à 4 heures maximum, les expositions moyennes sur 8 heures sont moindres. Des résultats similaires ont été décrits par **BURKHART (USA) [82]**.

► Des situations de travail à forte exposition

• **En France**, 3 études ont mesuré les expositions à l'halothane dans les blocs opératoires. En 1983, **STOCKLOV (Grenoble) [83]** relevait des valeurs instantanées d'halothane de 35 ppm et 1500-2000 ppm pour le N_2O , dans des salles mal ventilées qui n'avaient pas été conçues pour une utilisation à des fins chirurgicales. Ces valeurs diminuent respectivement à 16 et 800 ppm dans des blocs ventilés.

Plus récemment, en 1993, **DANG VU (Paris) [68]**, a évalué les concentrations en halothane de 27 blocs de 12 hôpitaux par badges passifs et a retrouvé des valeurs d'exposition moyenne sur 8 heures égales en pédiatrie à 33 ppm pour les anesthésistes et 8 ppm pour le reste du personnel ; dans les hôpitaux généraux ou adultes, elles étaient d'environ 2 ppm pour les anesthésistes ou chirurgiens et 1 ppm pour les infirmières.

GANIERE-MONTEIL (Nantes) [84] a suivi les expositions à l'halothane par badges passifs de plus d'une vingtaine de salariés et a relevé dans des blocs ORL sans ventilation des

niveaux moyens d'exposition de 10,4 ppm contre 2,8 ppm dans des blocs équipés de systèmes d'extraction de gaz, résultats comparables à ceux de ROVILLAT-BERGERET [84bis].

Toutes ces valeurs rejoignent celles présentées par KEDDARI (Algérie) [85] qui a obtenu, dans des blocs non ventilés et avec utilisation de circuits ouverts, des concentrations moyennes d'halothane égales à 8 ppm pour des mélanges anesthésiques contenant 1% d'halothane, 24 ppm pour des concentrations contenant 3% d'halothane.

- **En R.F.A.**, BINDING [86, 87] a retrouvé des résultats semblables en suivant l'exposition aux halogénés de 2 blocs sans ventilation générale. Il a obtenu pour le personnel des valeurs moyennes d'isoflurane comprises entre 2 et 13 ppm, et pour l'enflurane 3-17 ppm, valeurs supérieures aux valeurs ambiantes (respectivement entre 1 et 5 ppm, 3 et 9 ppm). Il a conclu en l'inefficacité des filtres à charbon actif dont étaient équipés les respirateurs.

➤ Des stratégies d'évaluation des blocs opératoires et des programmes de maîtrise de la pollution

Dans plusieurs pays ont été menés des travaux suivant une stratégie globale visant à évaluer, pour une série de blocs voire plusieurs hôpitaux, tant les pratiques opératoires que la ventilation générale et les dispositifs de captage localisés.

- **Au Québec**, l'IRSST a publié [88] en 1984, une évaluation des expositions au N_2O mesurée dans 3 Centres hospitaliers relevant des valeurs moyennes de N_2O comprises entre 26 et 850 ppm, ce en fonction :

- du nombre et de la durée des interventions,
- de l'emploi ou non de système d'évacuation des gaz résiduels,

- de fuites sur les systèmes hautes et basses pressions,
- des types de respirateurs,
- des méthodes et habitudes de travail.

- **En Belgique**, STEVENS [89] a évalué les expositions aux gaz anesthésiques des blocs opératoires de 4 hôpitaux. Les résultats, publiés en 1987, indiquent des concentrations d'exposition à l'halothane de 36 ppm (en moyenne), et de protoxyde d'azote entre 9 et 481 ppm (moyenne : 47 ppm). Notons qu'il a également relevé les concentrations urinaires en halothane et protoxyde d'azote et obtenu des valeurs corrélées aux expositions.

- **En Grande-Bretagne**, GARDNER [72] a publié en 1989, une évaluation menée entre 1980 et 1984 par le Health & Safety Executive, dans 27 hôpitaux, soit 40 salles d'opération et 18 salles de surveillance post interventionnelle. La moyenne géométrique, pondérée sur le temps des expositions, a été évaluée pour l'ensemble du personnel, égale à, dans les salles non équipées de dispositif de captage des gaz, 94 ppm de N_2O et 1,7 ppm d'halothane ; dans les salles équipées d'un dispositif d'extraction des gaz, à 32 ppm de N_2O et 0,7 ppm d'halothane. Pour la plupart du personnel, les expositions étaient significativement plus basses dans les blocs utilisant des dispositifs actifs d'extraction que ceux équipés de dispositifs passifs. L'exposition moyenne au N_2O des anesthésistes a également été retrouvée supérieure aux autres catégories de personnel, 210 ppm contre 150 ppm pour les chirurgiens et 70 ppm pour les autres personnels (prélèvements atmosphériques sur 8 heures de travail par badge de diffusion passive). L'introduction de dispositifs de captage fait globalement chuter les niveaux d'exposition de 66% (71 ppm, 50 ppm, 24 ppm pour les 3 catégories précitées).

Cette étude montre également l'intérêt des systèmes de captage localisés actifs (exposition moyenne 32 ppm) par rapport aux systèmes

de captage passifs (70 ppm) et à l'absence de dispositif local d'évacuation des gaz (94 ppm).

Dans l'hôpital pédiatrique, les valeurs moyennes sont 25 fois plus élevées que les normes pour l'anesthésiste, 6 fois plus élevées pour l'infirmière anesthésiste, avec des pointes enregistrées respectivement à 510 ppm et 408 ppm de N_2O .

- **Au Canada**, RAJHANS [71] a réalisé une évaluation de 38% des blocs des hôpitaux de l'Ontario (soit 74 sur 195).

Les anesthésistes ont les plus hautes valeurs moyennes pondérées d'exposition au N_2O [56-79 ppm] contre 28 ppm pour les chirurgiens.

Des valeurs instantanées de plus de 1000 ppm de N_2O sont obtenues, souvent liées à des fuites sur les équipements au niveau des systèmes hautes pressions, des valves, des masques.

Seuls 23% des blocs ont des ventilations qui répondent aux critères fixés par le Ministère de la Santé en Ontario soit un renouvellement de 24 volumes/heure.

Les auteurs préconisent une série de mesures :

- extraction localisée au niveau de la zone d'émission de polluants,
- ventilation générale avec débits \geq 24 volumes/heure,
- nomination d'une personne ressource chargée notamment de tester le matériel tous les 4 mois,
- suivi périodique de la ventilation et de la pollution des locaux.

- **En Allemagne** BOHNE-MATUSALL [90] a évalué dans 48 hôpitaux soit 102 salles d'opération et 16 salles de surveillance post interventionnelle, la pollution des ambiances de travail avec mesurage par badges auprès de 250 anesthésistes et 260 infirmières. Il est apparu que, dans 26 % des salles d'opération, les concentrations moyennes en N_2O dépassaient 50 ppm et 8% d'entre elles dépassaient les valeurs moyennes de 5 ppm d'halothane.



1.4 - L'évaluation des expositions professionnelles

- En Espagne, GUARDINO-SOLA [91] relève que les concentrations moyennes mesurées depuis 1985 dans les blocs sont de 500 à 3500 ppm pour le N_2O , 1 à 20 ppm en halothane. Un programme de prévention a été défini :

- les substances anesthésiques ont été incluses parmi les toxiques professionnels,
- mise en place de dispositifs d'évacuation sous vide et d'extractions localisées,
- ventilation générale à un débit de 18 volumes/heure minimum,
- contrôles périodiques de l'environnement et biométries,
- formation et responsabilisation du personnel concerné,
- vérification périodique du matériel, des dispositifs sous vide, de la ventilation générale,
- vérification des systèmes d'extraction (soupapes de sécurité, recherche de fuites au niveau des tuyaux).

► Des actions de prévention évaluées

- KANI [92] et BORM [93] au Pays-Bas et EICKMANN [93bis] en Allemagne ont validé un modèle prédictif de la pollution du N_2O dans les blocs et les salles de surveillance post interventionnelle lié aux critères suivants :

- caractéristiques de la ventilation générale,
- taux de circulation de l'air,
- débit de N_2O ,

confirmant le caractère déterminant de ce dernier facteur. Ils ont mesuré pendant 18 jours dans 4 blocs opératoires les concentrations moyennes d'exposition au N_2O et suivi l'excrétion de N_2O urinaire des salariés. Ils ont mis en évidence des expositions dépassant dans tous les cas 25 ppm, essentiellement liées au respirateur. Un programme concernant la ventilation générale et surtout l'amélioration technique des équipements d'anesthésie avec l'aménagement de systèmes d'extraction des gaz (58% de gains dus à cette seule mesure) et l'utilisation constante de masques avec captage localisé, a permis une réduction durable de

80% de l'exposition qui a été évaluée, un an après, inférieure à 18 ppm pour l'ensemble du personnel.

Ces résultats peuvent être rapprochés de ceux de SCHUYT et VERBECK [94] qui, après amélioration dans 30 salles d'opération de 7 hôpitaux, obtiennent des expositions moyennes de N_2O inférieures à 25 ppm (2-15 ppm au lieu de 68 ppm initialement chez des patients intubés et 9-42 ppm contre 134-764 ppm chez les anesthésiés au masque des enfants.

- Par exemple, CINO [94] propose un masque laryngé, SHAPER [95] a évalué l'efficacité d'un **masque à double enveloppe** mesurant, dans la zone de l'anesthésiste, 150 ppm de N_2O avec l'utilisation pendant 30 minutes d'un masque classique contre 5 ppm de N_2O avec l'utilisation du masque à double enveloppe pendant les 30 minutes suivantes.

► En conclusion :

- Il semble coexister plusieurs situations de risque :

- des expositions moyennes pouvant être améliorées par une meilleure information du personnel, l'aménagement de dispositifs d'extraction et une meilleure utilisation des respirateurs,

- des expositions élevées, relevées notamment dans les études françaises,

- . dans les blocs non ventilés, dans les utilisations de circuits ouverts, de masques, sans dispositif de captage,

- . en anesthésie pédiatrique ou lors d'utilisations peu développées en France comme chez les sages-femmes ou les dentistes.

- **La maîtrise de la pollution est possible, elle exige la mise en œuvre d'un programme de prévention et son évaluation, certains l'ont entrepris et ont obtenu des résultats satisfaisants.**

- Les évaluations menées en région Ile de France et présentées ci-après complètent les études françaises citées précédemment,

1.4.2 - L'expérience de la CRAM d'Ile de France

Le Laboratoire de Toxicologie Industrielle de la CRAM d'Ile de France a réalisé durant la période 1992-1994, des prélèvements dans 191 salles réparties dans 37 blocs opératoires.

1.4.2.1 - Prélèvements et analyses

La stratégie de prélèvement des gaz anesthésiques a rapidement évolué. Si, d'abord, le laboratoire s'est limité aux composés halogénés, les dosages se sont ensuite étendus au protoxyde d'azote. Enfin, l'expérience a fait apparaître le protoxyde d'azote comme étant le traceur idéal de la pollution des blocs opératoires.

PRELEVEMENTS :

Les halogénés :

La méthode de prélèvement était dérivée de la norme NFX 43.252 : adsorption sur tubes de charbon actif à un débit de 1 l/min. environ, pendant une durée variant de 15 à 45 minutes.

Il a rarement été possible d'effectuer des prélèvements individuels d'halogénés sur les anesthésistes et personnels en contact avec le champ opératoire.

En général, le laboratoire a effectué deux points par salle :

- . sur le respirateur lui-même : emplacement relativement constant d'une salle à l'autre,

- . au pied du patient ; en général contre un mur ; mais, inévitablement, avec des variations d'une salle à l'autre : hauteur du point de prélèvement (de 60 cm à 2 m), distance variable du capteur au patient et variation par rapport à l'axe du patient.

Le protoxyde d'azote :

L'air était prélevé dans des ballonnets en polychlorure de vinyle/polyfluorure de vinyle, de 2 litres, au moyen d'une pompe débitant environ 0,5 l/min. Cette technique n'autorise que des prélèvements d'ambiance.

On s'est limité à suivre un point à proximité du respirateur (dans un rayon de 1 m).

Ces investigations ont été complétées par des prélèvements dans des salles d'opération vides depuis la veille, les salles de surveillance post interventionnelle, des couloirs, bureaux, etc.

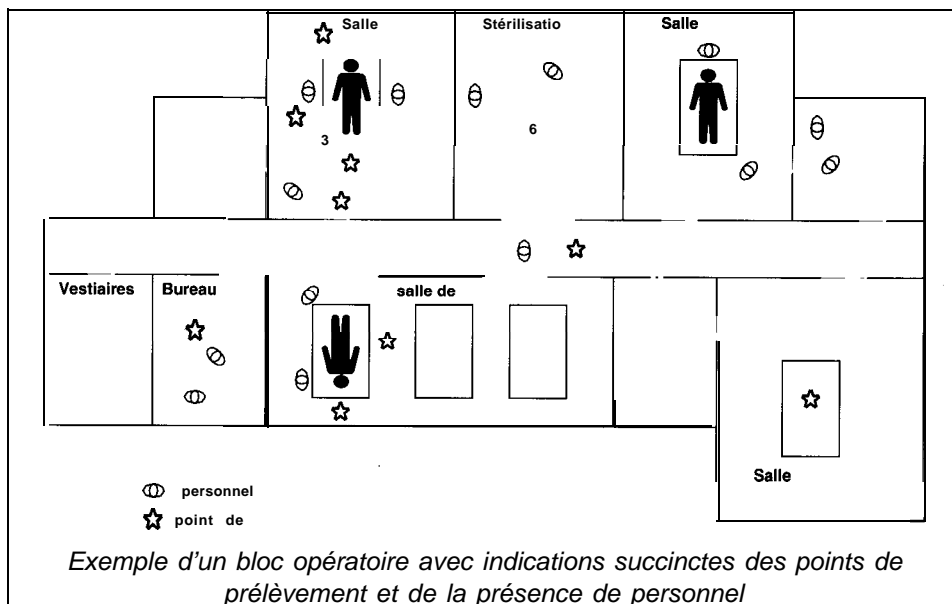


Figure 8

STRATEGIE DU PRELEVEMENT :

La figure 8 présente un exemple des points de prélèvement dans un bloc opératoire.

ANALYSES :

Les haloaénés :

Les analyses ont été effectuées au Laboratoire, par chromatographie en phase gazeuse (détection par ionisation de flamme ou détecteur de masse).

Les composés halogénés piégés sur tubes de charbon actif, peuvent être conservés au réfrigérateur une quinzaine de jours avant analyse.

Le protoxyde d'azote :

Les analyses ont été effectuées au Laboratoire, par chromatographie en phase gazeuse (détection par capture d'électrons).

Les ballonnets contenant les échantillons d'air sont traités rapidement.

1.4.2.2 - Examen des résultats

Au cours de la campagne de prélèvements, le laboratoire a recueilli et analysé 435 échantillons d'atmosphère, dans 191 salles de 37 blocs opératoires.

Les résultats, exprimés en ppm, ont été regroupés dans les quatre tableaux ci-après. Ces données ont été classées par type de circuit utilisé.

Chaque bloc opératoire est identifié par une ou deux lettres, le chiffre associé correspond au numéro de la salle où le prélèvement a été effectué.

Y ont été reportés, à chaque fois que cela a été possible :

- le taux horaire de renouvellement d'air dans la salle lorsque celui-ci a pu être retrouvé, sans pouvoir préciser s'il s'agit véritablement d'air neuf.
- le type d'intervention pratiquée.
- les teneurs en protoxyde d'azote relevées dans les salles voisines.

Il n'a pas toujours été possible d'obtenir les caractéristiques aérauliques des ventilations générales des salles. De plus, le circuit d'apport d'air neuf comporte fréquemment des

filtres à haute efficacité : leur pro-pension au colmatage doit rendre très prudent vis-à-vis du taux de renouvellement d'air annoncé. Par ailleurs, le personnel des blocs ignore souvent la part du recyclage dans la ventilation.

Quelques explications sur les termes utilisés dans ces tableaux :

Point zéro : Prélèvement effectué dans une salle vide depuis la veille, avant toute manipulation de gaz anesthésiques.

Induction : Prélèvement effectué au cours de la phase d'induction du patient, 5 minutes après l'ouverture de la vanne d'arrivée du protoxyde d'azote.

Entretien anesthésie : Prélèvement effectué au cours de la phase d'entretien d'anesthésie du patient, au plus tôt 15 minutes après le début de cette phase.

Après anesthésie : Prélèvement effectué au plus tôt 15 minutes après la fermeture de la vanne d'arrivée du protoxyde d'azote.

1.4 - L'évaluation des expositions professionnelles

1.4.2.3 - Les salles d'opération

A UTILISATION D'UN CIRCUIT SANS REINHALATION DE GAZ (CIRCUIT OUVERT) [TABLEAU 1]

Ce tableau se scinde en deux parties sans et avec système actif d'évacuation des gaz [57]

TABLEAU N° 1 : ANESTHESIE SOUS CIRCUIT SANS REINHALATION DE GAZ (circuit ouvert)
Résultat des prélèvements d'atmosphère effectués dans les salles d'opération

Descriptif de la salle étudiée										Concentration en N ₂ O en ppm dans les salles voisines				
Salles	Concentration à proximité de l'appareil d'anesthésie				Débits utilisés en l/min		Renouvellement air annoncé Volume/heure	Type opération	Salle de réveil		Salle d'opération vides	Bureau couloir stérilis. etc.	Salles d'opération Utilisation N ₂ O	
	Point zéro	Protoxyde d'azote en ppm		Halogénés en ppm	N ₂ O	O ₂			Point Zéro	Avec patients				
		Entretien anesthésique	Après anesthésie											
1 A1		562-533		0,5			# 8,5	ORL		194				
2 A2		506		0,5+0,5			# 7,7	Ophta						
3 B1		625-644-660		6,3				Uro		125-490		B3 masque		
4 B2		718-716		5,7				Uro				350-700		
5 C1		448-609		1,3			# 17	Diges	144	215-139	144	Stérilisation : 158		
6 C2		277-331	22 (20' après)	3,5			# 22	Diges						
7 E2		231												
8 E5		254								38-22				
9 E7	5	190												
10 G1		601		0,7	4	4		Ophta		445-451		Couloir : 181		
11 G4		640		1,7	4	4		Coelio		319-325				
12 H1		251		1,9	4	4		Ophta	2	43		Couloir : 50		
13 H2		431		1,8	4	4		Ophta						
14 L3		98-295	23 (15' après)	5,3					2	38		Stérilisation : 1		
15 N1		260-236						Procto		20-17				
16 Z3		391-314	115 (15' après)		5	6				53-33-78-55-57	34-199	Repos : 192-55		
17 AA1	13	166-250			3,25	3,25	# 15					Couloir : 32-43-45		
18 AA2	22	179-375			4	4	# 15					Bureau : 15-54		
19 AA3	37	518-505-505-454	84 (45' après)		4	4	# 15					Office : 193		
20 AE	4	32-91-217	302 (30' après)				Sans ventilation	I.V.G.	3	93-309-204	3-32-24	Couloir : 3-27-27		
21 AG1		348-780			4	4		ORL						
22 AG2	18	500-412			6	6		Hystéro	37	89-151-166		Vestiaire : 394		
23 AG4	26	156+ 15-475			3	3		Artério						
24 AJ7	7	358-194	3 (30' après)		4	4		Panaris	3	13-17		AJ3 Cir fermé		

Utilisation de SEGA

25 F1		20		0,3	3,5	3,5					78	
26 F2		292		4,9+7,6								
27 F3		17		0,2	3,5	3,5						
28 AC1		251-182 SEGA branchée 52-53-41	4 (15' après)		4	4				16-10	2-18	Couloir : 2-1 8

Toutes les salles sont ventilées mécaniquement avec extraction et introduction d'air sauf la salle AE (ligne 20)
 Salle F2 : Le système présentait une fuite le jour de notre intervention (ligne 26)

a) Sans système actif d'évacuation des gaz

Les 41 concentrations de protoxyde d'azote, relevées lors de la phase d'entretien d'anesthésie, se répartissent suivant une loi Log normale, avec un minimum de 91 ppm, un maximum de 780 ppm, une concentration médiane à 375 ppm et un écart type de 193 ppm.

Seules, 5% des concentrations sont inférieures à 100 ppm, ce qui témoigne de l'importance de la pollution.

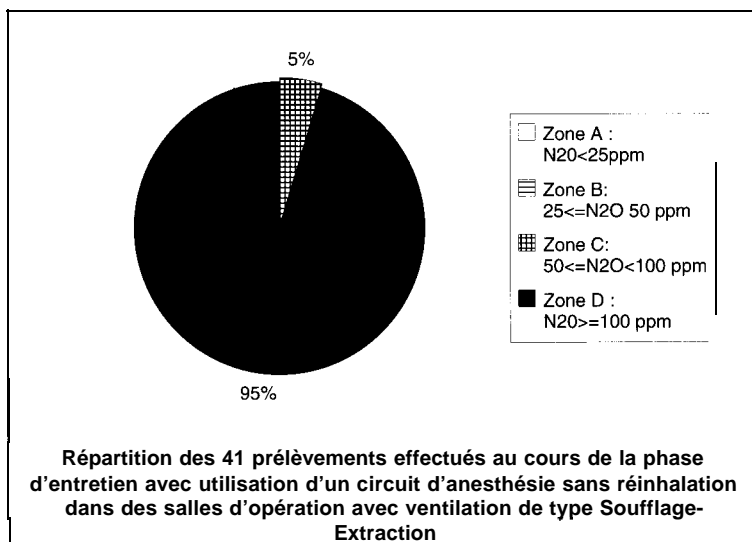


Figure 9



Notons que dans l'unique salle du bloc opératoire AE (ligne 20) ne disposant pas de ventilation générale, la pollution résiduelle, 30 min. après la fin de l'anesthésie est importante : 302 ppm, ceci malgré une intervention de courte durée (I.V.G. = 5 min.). Cette pollution s'est propagée dans tout le bloc (voir les salles annexes).

Pour les halogénés, la moyenne des valeurs relevées

est supérieure à 2 ppm (limite fixée par la circulaire du Ministère de la Santé). La dispersion des résultats est liée à l'utilisation de cartouches de charbon actif plus ou moins saturées.

Dans la salle A2 (ligne 2) deux composés halogénés différents ont été identifiés, alors qu'il n'est fait usage que d'un seul anesthésiant halogéné. Nous avons déjà rencontré ce phénomène dans d'autres blocs.

b) Avec système actif d'évacuation des gaz

On exclut la concentration de la salle F2 (ligne 26) où il y avait une fuite du système, les 5 concentrations de protoxyde d'azote, relevées lors de la phase d'entretien d'anesthésie, se répartissent avec un minimum de 17 ppm, un maximum de 53 ppm, une concentration médiane à 41 ppm et un écart type de 17 ppm.

Toutes les valeurs sont largement inférieures à 100 ppm.

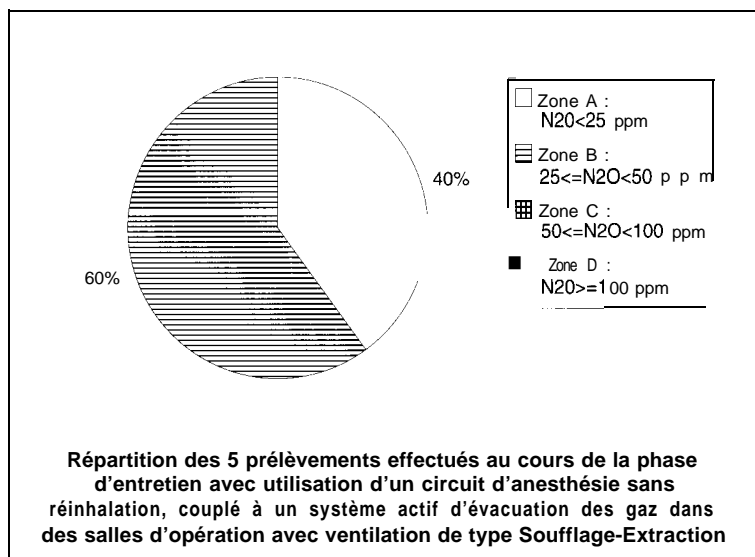


Figure 10

La figure 11 illustre :

- 1°) l'intérêt de réaliser des prélèvements rapprochés pour suivre l'évolution des concentrations en N_2O au cours d'une intervention chirurgicale et de recueillir précisément les différents paramètres pour une bonne interprétation,
- 2°) l'efficacité du dispositif système actif d'évacuation des gaz, d'autant plus remarquable que le débit de protoxyde d'azote est de 3,5 à 4l/min.

Pour les halogénés, les concentrations relevées sont inférieures aux 2 ppm recommandées par la circulaire française.

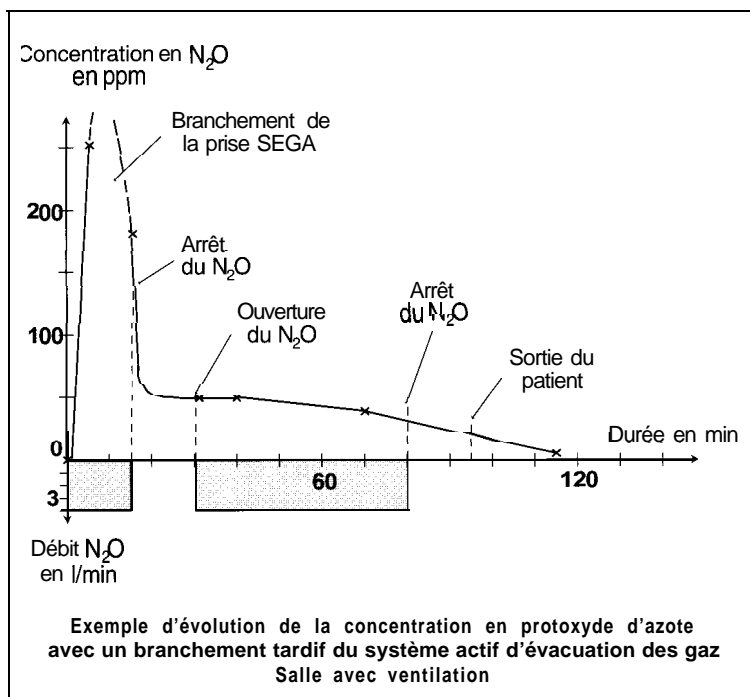


Figure 11



1.4 - L'évaluation des expositions professionnelles

Pour l'ensemble du tableau N°1

- ◆ Il existe une cohérence entre les concentrations relevées en salle d'opération et les locaux annexes.
- ◆ Toutes les concentrations de protoxyde d'azote,

relevées lors de la phase d'entretien d'anesthésie ont été regroupées dans le tableau N°4.

Colonne **TA3** = système sans réinhalation de gaz, couplé à un système actif d'évacuation des gaz

Colonne **TA8** = système sans réinhalation de gaz, seul.

c) Avec système passif d'évacuation des gaz

Une série de mesurages est rapportée, figure 12, montrant l'effet du simple rejet directement à l'extérieur de la salle d'opération des gaz générés par le respirateur et par le capnographe (analyseur de gaz). La tuyauterie mesurant environ 3 m de long, l'extraction est naturelle. On constate dans le cas d'une anesthésie sans réinhalation de gaz avec un débit de 3 l/min. de protoxyde d'azote une nette limitation de la concentration ambiante de N₂O. Bien que la salle d'opération ne dispose que d'une ventilation naturelle, la concentration en N₂O n'atteint pas 100 ppm.

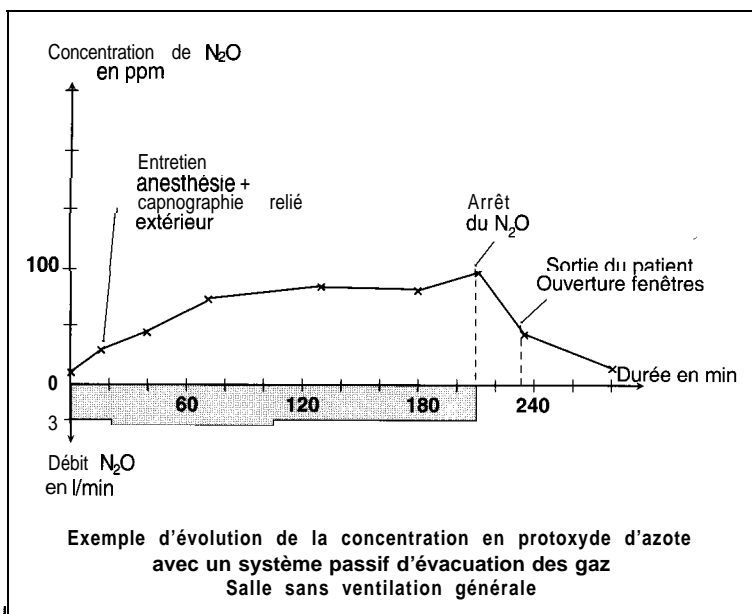


Figure 12

B - ANESTHESIE AU MASQUE [TABLEAU 2]

Les 20 concentrations de protoxyde d'azote, relevées lors de la phase d'entretien d'anesthésie, se répartissent suivant une loi Log normale, avec un minimum de 37 ppm, un maximum de 795 ppm, une concentration médiane à 360 ppm et un écart type de 248 ppm.

85% de ces concentrations sont supérieures à 100 ppm.

TABLEAU N° 2 : ANESTHESIE AU MASQUE

Résultats des prélèvements d'atmosphère effectués dans les salles d'opération.

Salles	Descriptif de la salle étudiée					Concentration en N ₂ O en ppm dans les salles voisines				
	Concentration à proximité de l'appareil d'anesthésie			Renouvellement air annoncé Volumes/heure	Type Opération	Salle de réveil		Salles d'opération Vides	Bureau couloir stérilisation etc	Salles d'opération Utilisation N ₂ O
	Point Zéro	Protoxyde d'azote en ppm				Point Zéro	Avec Patients			
1	B3		350-700				125-490			
2	E6		398	106			89-28		Repos	4
3	F1		175			18	20-29-24			
4	F5		229							
5	L2	4	37-50							
6	O2		235-216	29		15	11-34-12-14	18	Couloir	70-21
7	S2	5	493	314 (30'après)			234		Couloir	207-276-250
8	W2	2.-30	160				90		Couloir	2-17-99
9	X1		314-628-795	653 (5'après)			62-36-53	132	Bureau	50-20-8-8
10	AB1	12	370-433-636-692-780	236 (30'après)			735			

Toutes les salles sont ventilées mécaniquement avec extraction et introduction d'air.

Salle **AB1** (ligne 10) : Arrêt de la ventilation en cours d'intervention pendant environ 10min à cause du bruit, puis remise en service pour le reste de la matinée.

1.4 - Evaluation des expositions professionnelles



Notons, que dans la salle AB1 (ligne 10) l'arrêt de la ventilation en cours d'intervention chirurgicale a entraîné une forte augmentation de la pollution dans la salle. Dans la salle de surveillance post interventionnelle attenante on trouve 735 ppm de protoxyde d'azote.

Après anesthésie, les concentrations de protoxyde d'azote diminuent lentement.

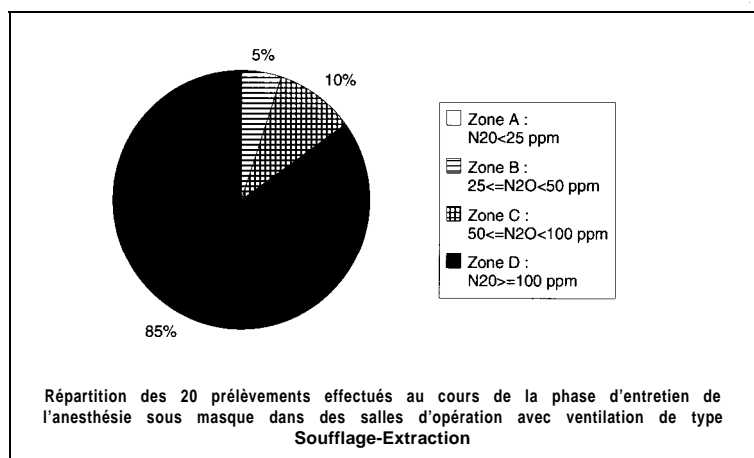


Figure 13

Toutes les concentrations de protoxyde d'azote, relevées lors de la phase d'entretien d'anesthésie ont été regroupées dans le tableau N°4 en colonne TA7 = anesthésie au masque.

C - UTILISATION D'UN CIRCUIT D'ANESTHESIE AVEC REINHALATION DE GAZ [TABLEAU 3]

En première analyse, tous les résultats peuvent sembler comparables. Les concentrations en protoxyde d'azote moins élevées qu'avec les systèmes précédents, même si 66% des concentrations sont supérieures à 100 ppm.

TABLEAU N° 3 : ANESTHESIE SOUS CIRCUIT D'ANESTHESIE AVEC REINHALATION DE GAZ
Résultats des prélèvements d'atmosphère effectués dans les salles d'opération

Salles	Descriptif de la salle étudiée					Concentration en N2O en ppm dans les salles voisines								
	Concentration à proximité de l'appareil d'anesthésie					Débits utilisés en l/min		Renouvellement air annoncé Volumes/heure	Type opération	Salle de réveil		Salles d'opération vides	Bureau Couloir Stérilis. etc.	Salles d'opération Utilisation N2O
	Point zéro	Protoxyde d'azote en ppm			Halogénés en ppm	N2O	O2			Point Zéro	Avec Patients			
	Induction	Entretien anesthésie	Après anesthésie											
1	JO		34-52	15 (30'après)	0,4	0,4	0,3	#10	ORTHO	3	29-24	4-3	Couloir 4	
2	K3		10-19		0,08	0,4	0,4		VASCU			113-47	Couloir 79-192-211	7
3	TA		33-31-29			0,3	0,5	#17						
4	TC		44-28			0,4	0,6	#17		4	45-43-15-5-20-32	3-2	Couloir 10-15-44	
5	TD		34-39			0,3	0,4	#17						
6	R6	68	H.D.(312-355)	170-84-58		0,24	0,36				58			
7	R13			79-110-170	119	0,5	0,5				100	105		
8	R18	47		230-118-102-163		0,5	0,5							
9	AD0	3	H.D.	40-166-104-100-105-121	104 (15'après)	0,5	0,6	#15		10	17-12-38-26-X	2-0		
10	AD3	10	H.D.	164-108		0,45	0,5	#15						
11	AB3			46-112-335		0,6	1	#15		98	110-75-162-98	2-4		AB1:H.D.
12	AI	25	Intraveineux	67-183-84-68-38		0,7	0,7	Sans ventilation	DIGES	21	26	36-17	Bureau 13	
13	AJ3	2	H.D.(106-123)	25-49	3 (30'après)	0,7	0,55		COELIO		3-3	13-17		AJ7: H.D.
14	M5			441-520		0,8	0,5	Sans ventilation						
15	O2	29		92		0,8	0,7			15	11-34-12-14	18	Couloir 21-70	
16	O4			145-133		0,6	0,6							
17	P2			349-342-381		1	2,2			88	85-71-65		Couloir 83-51	
18	P4		H.D.	95-137-83		0,8	1,7							
19	Q4			40-150-183	44	1	0,8				70-100-89-132-43	53	Couloir 58-50-12	
20	W1	3		124-244-265-291-217-222	219 (5'après)	1,5	1,5			2	90		Couloir 2-17-99	
	suite			203-266-291	42 (30'après)									
21	X2	132		245-250	84 (15'après)	1,5	1,8				28	62-36-53	Couloir 50-20-8-8	X1:H.D.
22	E5			94		1,5	2,5					38-22		2 salles cir ouvert
23	I1			271-363		2	1,8	#7	CHIRU		53-33-78-55-57	34-199	Repos 6-192-155	14: H.D.
24	Z2	35	H.D.(332)	314-263-361		1,5	1,8							
Utilisation de SEGA														
25	"2	2	H.D (45-94)	46-15-20		0,2	0,6			11	122-277	8	Couloir 60	
26	"3	2	H.D.(9)	11-11-9		0,2	0,3				Utilisation N2O			

□ Système ne pouvant fonctionner qu'à haut débit (semi-fermé)

H.D. Haut Débit de gaz (en moyenne 4 à 6 l/min de N2O)

Toutes les salles sont ventilées mécaniquement avec extraction et introduction d'air sauf les salles AI et M5 (lignes 12 et 14)



1.4 - L'évaluation des expositions professionnelles

Cependant, on distingue selon les classes de débit, quatre groupes homogènes :

- Débit N₂O supérieur à 1 l/min.
- Débit N₂O compris entre 0,5 l/min. et 1 l/min.
- Débit N₂O inférieur à 0,5 l/min.
- Débit N₂O inférieur à 0,5 l/min. associé à un système actif d'évacuation des gaz

Certains respirateurs ne peuvent fonctionner qu'avec un débit de N₂O supérieur à 1l/min. (système semi-fermé)

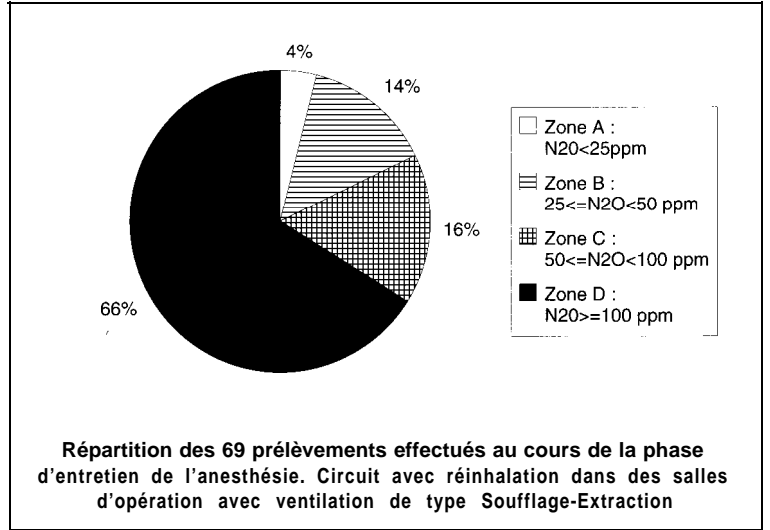


Figure 14

a) Débit N₂O supérieur à 1 l/min.

Les 24 concentrations de protoxyde d'azote, relevées lors de la phase d'entretien d'anesthésie, se répartissent suivant une loi Log normale, avec un minimum de 107 ppm, un maximum de 381 ppm, une concentration médiane à 244,5 ppm et un écart type de 78 ppm.

96% de ces concentrations sont supérieures à 100 ppm.

Toutes les concentrations de protoxyde d'azote, relevées lors de la phase d'entretien d'anesthésie ont été regroupées dans le tableau N°4 en colonne TA6 = système avec réinhalation de gaz, Débit N₂O supérieur à 1l/min.

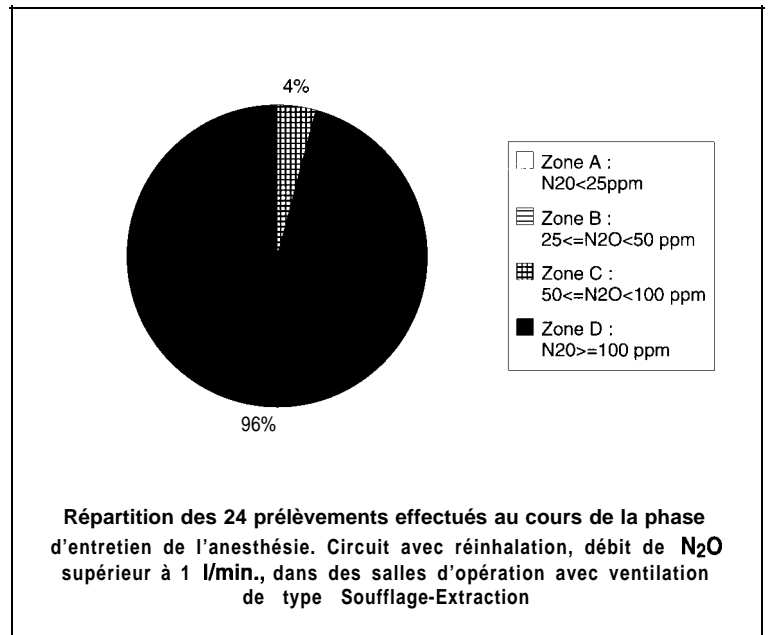


Figure 15



b) Débit N₂O compris entre 0,5 l/min. et 1 l/min.

Les 29 concentrations de protoxyde d'azote relevées lors de la phase d'entretien d'anesthésie, se répartissent suivant une loi Log normale, avec un minimum de 67 ppm, un maximum de 235 ppm, une concentration médiane à 125 ppm et un écart type de 53 ppm.

66% de ces concentrations sont supérieures à 100 ppm.

Toutes les concentrations de protoxyde d'azote, relevées lors de la phase d'entretien d'anesthésie ont été regroupées dans le tableau N°4 en colonne TA5 = système avec réinhalation de gaz, Débit N₂O compris entre 0,5 l/min. et 1 l/min.)

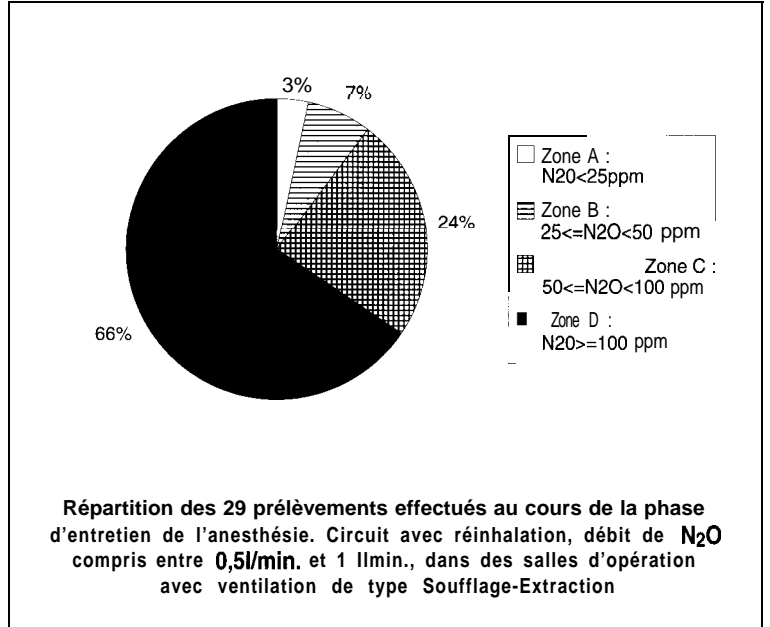


Figure 16

c) Débit N₂O inférieur à 0,5 l/min.

La figure 17 illustre :

- l'intérêt de réaliser des prélèvements rapprochés pour suivre l'évolution des concentrations en N₂O au cours d'une intervention chirurgicale et de recueillir précisément les différents paramètres pour une bonne interprétation,
 - les conséquences d'une induction avec protoxyde d'azote sur la pollution de la salle d'opération
- A partir de ce constat, nous avons décidé d'analyser les résultats obtenus en incluant un nouveau paramètre : le type d'induction.

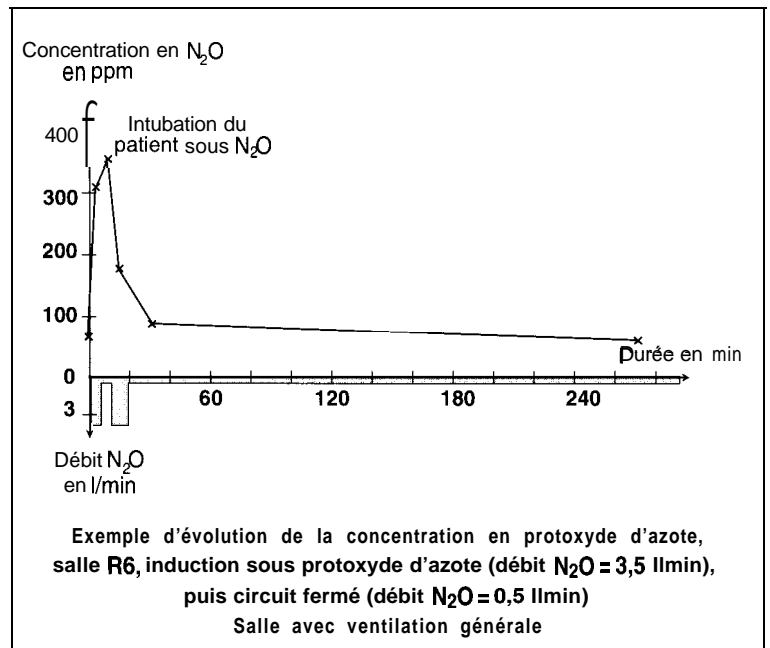


Figure 17

1.4 - L'évaluation des expositions professionnelles

c1) Débit N₂O inférieur à 0,5 l/min. avec induction avec N₂O

Les 5 concentrations de protoxyde d'azote, relevées lors de la phase d'entretien d'anesthésie, se répartissent avec un minimum de 58 ppm, un maximum de 170 ppm, une concentration médiane à 108 ppm et un écart type de 49 ppm.

60% de ces concentrations sont supérieures à 100 ppm.

Toutes les concentrations de protoxyde d'azote, relevées lors de la phase d'entretien d'anesthésie ont été regroupées dans le tableau N°4 en colonne **TA4** = système avec réinhalation de gaz, bas Débit N₂O inférieur à 0,5 l/min., induction avec N₂O.

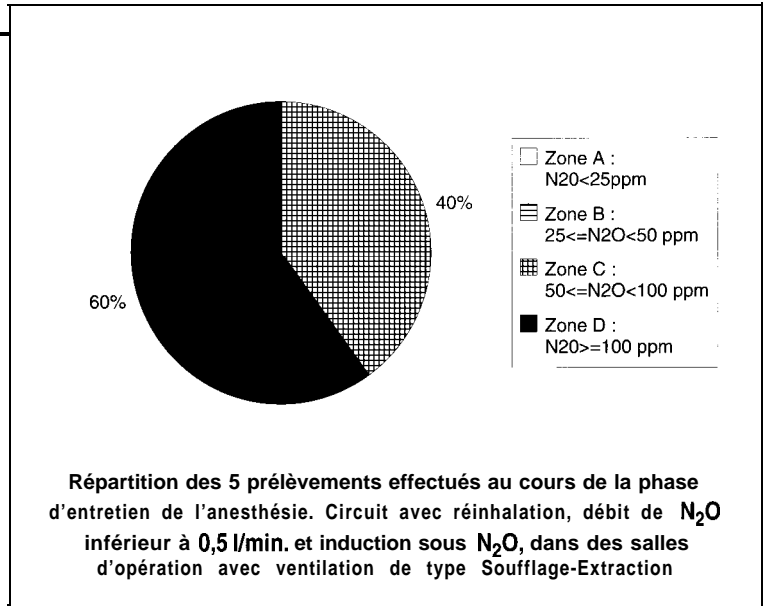


Figure 18

c2) Débit N₂O inférieur à 0,5 l/min. avec induction O₂ + intraveineux

Les 11 concentrations de protoxyde d'azote, relevées lors de la phase d'entretien d'anesthésie, se répartissent suivant une loi Log normale, avec un minimum de 10 ppm, un maximum de 52 ppm, une concentration médiane à 33 ppm et un écart type de 11 ppm.

9% seulement de ces concentrations sont supérieures à 50 ppm.

Toutes les concentrations de protoxyde d'azote, relevées lors de la phase d'entretien d'anesthésie ont été regroupées dans le tableau N°4 en colonne **TA2** = système sans réinhalation de gaz, bas Débit N₂O inférieur à 0,5 l/min., induction avec O₂ + intraveineux.

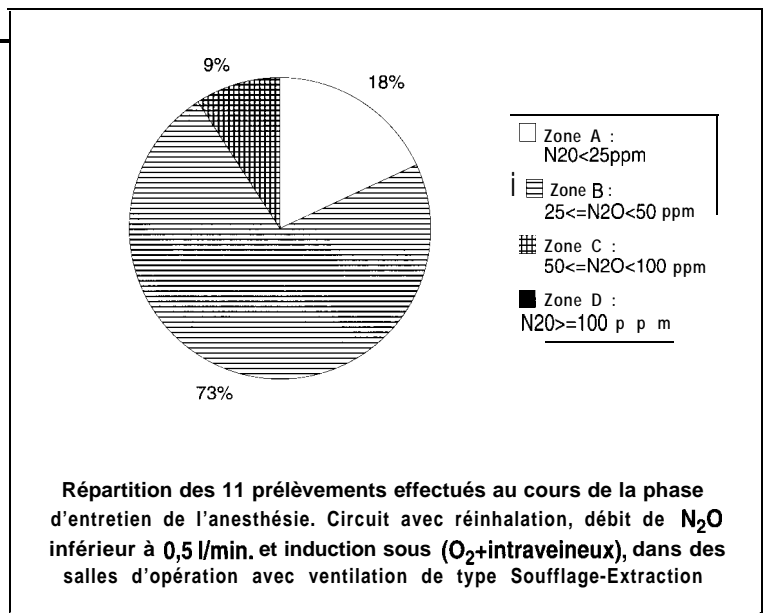


Figure 19

d) Débit N₂O <0,5 l/min. associé à un système actif d'évacuation des gaz

Les 6 concentrations de protoxyde d'azote, relevées lors de la phase d'entretien d'anesthésie, se répartissent suivant une loi Log normale, avec un minimum de 9 ppm, un maximum de 46 ppm, une concentration médiane à 13 ppm et un écart type de 14 ppm.

Toutes les concentrations sont inférieures à 50 ppm.

Toutes les concentrations de protoxyde d'azote, relevées lors de la phase d'entretien d'anesthésie ont été regroupées dans le tableau N°4 en colonne TA1 = système avec réinhalation de gaz, Débit N₂O inférieur à 0,5 l/min., associé à un système actif d'évacuation des gaz.

Les concentrations élevées dans la salle de surveillance post interventionnelle de 122 et 277 ppm (Bloc V, lignes 25 et 26) s'expliquent par le fait que du protoxyde d'azote a été utilisé dans ce local.

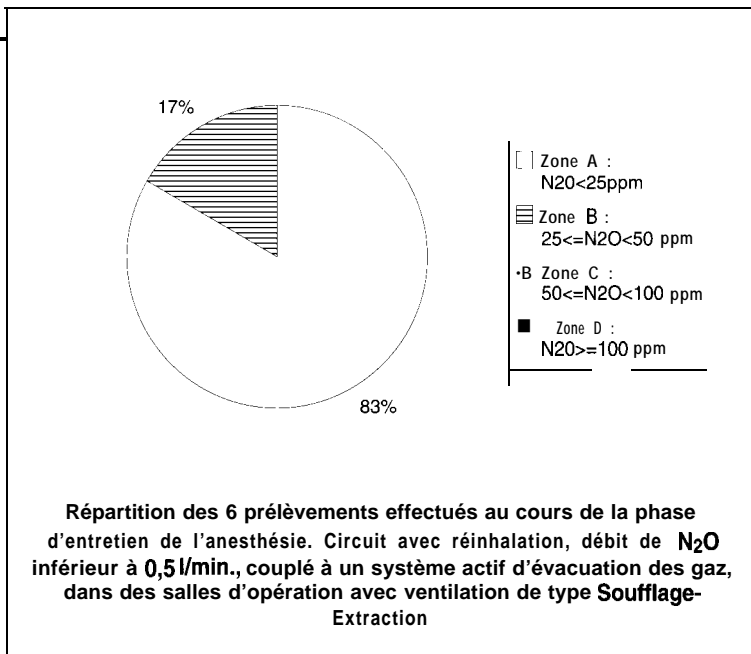


Figure 20

1.4 - L'évaluation des expositions professionnelles

D · COMPARAISON DES PHASES D'ENTRETIEN SUIVANT LE TYPE D'ANESTHESIE ET LE DEBIT DE PROTOXYDE D'AZOTE
UTILISE
(TABLEAU ~)

	TA1	TA2	TA3	TA4	TA5	TA6	TA7	TA8	
Circuit d'anesthésie	Aves réinhalation + SEGA	Avec réinhalation	Sans réinhalation + SEGA	Avec réinhalation	Avec réinhalation	Avec réinhalation	MASQUE	Sans réinhalation	
Débit N ₂ O	< 0,5 l/min.	< 0,5 l/min.		< 0,5 l/min.	[0,5<=<1 l/min]	> 1 l/min.			
Modalité d'induction		O ₂ + Intraveineux		N ₂ O					
	46 15 20 11 9 11	33 31 29 34 39 34 52 10 19 44 28	20 17 52 53 41	170 84 58 164 108	68 38 441 520 92 166 104 100 105 121 25 49 95 137 83	79 110 170 230 118 102 163 145 133 112 235 67 183 84	349 342 381 150 183 124 244 265 291 217 493 160 314 628 795 370 433 636 692 780 64	562 533 506 625 644 660 718 716 448 609 277 331 231 254 190 601 640 251 431 98	295 260 236 391 166 250 179 375 518 505 91 217 348 780 500 412 156 115 475 358 194
Jombre de valeurs	6	11	5	5	29	24	20	41	
Moyenne	19	32	37	117	138	237	388	394	
Minimum	9	10	17	58	67	107	37	91	
Maximum	46	52	53	170	235	381	795	780	
Ecart type	14	11	17	49	53	78	248	193	
Mediane	13	33	41	108	125,5	244,5	360	375	
Loi de distribution	Log normale	Log normale			Log normale	Log normale	Log normale	Log normale	
Hypothèse	acceptée	acceptée			acceptée	acceptée	acceptée	acceptée	
Moyenne des log	3	3			5	5	6	6	
Ecart type des log	1	0			1	0	1	1	
Probabilité en% de dépassement									
25ppm	21,60	64,8	69,10	99,90	99,20	>99,9	99,60	> 99,9	
50ppm	2,59	12,22	21,70	95,45	90,40	>99,9	97,19	> 99,9	
100ppm	0,12	0,34	1,97	56,75	58,30	98,38	87,49	98,39	

(1) Valeur recueillie 15' après une induction à haut débit

* Utilisation de respirateurs de type semi fermé ne permettant qu'un débit de N₂O > 1 l/mn.



Ci-après, une représentation graphique de ces données.

Ces graphiques semblent faire apparaître 3 sous-populations :

TA1, TA2, TA3 correspondant à une situation optimale.

TA4, TA5 : systèmes avec réinhalation et débit inférieur à 1 l/min. ; induction sous N₂O

TA7, TA8 : systèmes sans réinhalation et débit supérieur à 1 l/min., situation de pollution maximale.

TA6 : système avec réinhalation et débit supérieur à 1 l/min. intermédiaire aux deux précédents.

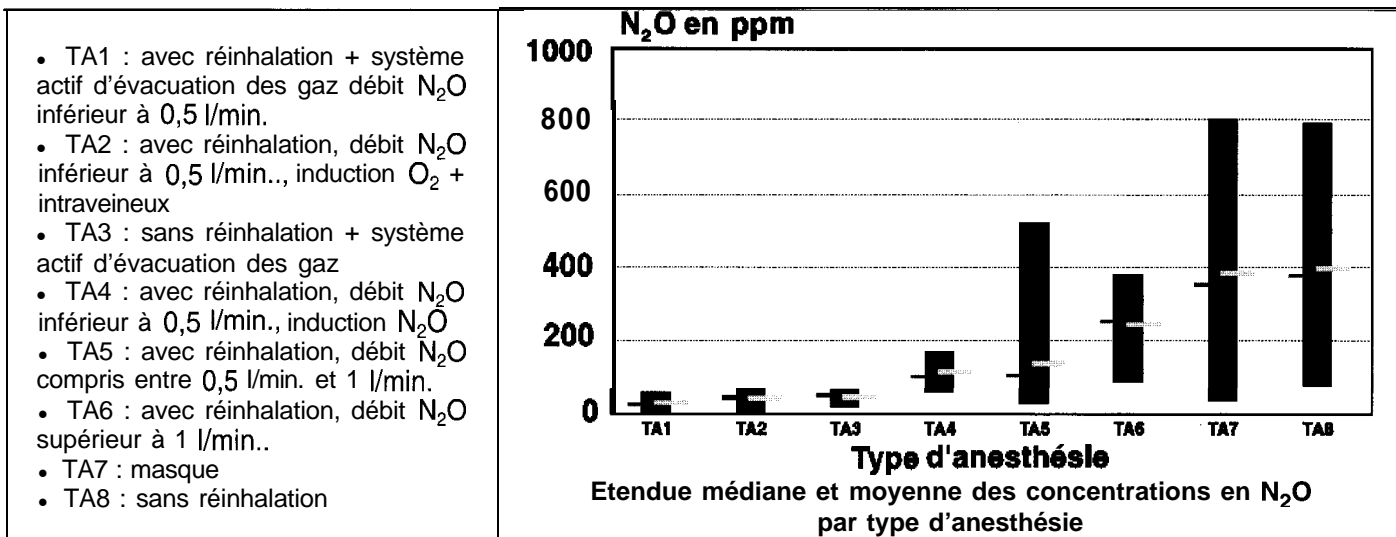


Figure 21

- Ces graphiques semblent indiquer un lien entre le type de technique anesthésique utilisé et le niveau de pollution.

- Nous avons réalisé des tests de comparaisons de moyennes sur petits échantillons à partir des données logarithmiques et obtenu les résultats suivants :

Populations comparées		Résultats	Conclusions
TA1	TA2	p = 0,02	TA1 différent de TA2
TA1	TA3	ns (effectifs faibles)	
TA1	TA4	p = 2.10 ⁻⁴	TA1 différent de TA4
TA2	TA4	p = 10 ⁻⁴	TA2 différent de TA4
TA2	TA5	p = 10 ⁻⁷	TA2 différent de TA5
TA4	TA5	p = 10 ⁻⁷	
TA5	TA6	ns	TA5 différent de TA6
TA6	TA7	p = 2.10 ⁻⁴	TA6 différent de TA7
TA6	TA8	ns	TA6 différent de TA8
TA7	TA8	p < 10 ⁻³	
		ns	

p : degré de signification du test (acceptable si <0,05)
 ns : non significatif

Tableau 5

Il s'ensuit les conclusions suivantes :

• Influence du type de circuit utilisé :

Dans les anesthésies au masque (TA7) ou avec utilisation d'un circuit d'anesthésie sans réinhalation de gaz (TA8), on se trouve systématiquement à des niveaux de pollution

en protoxyde d'azote beaucoup plus élevés que ne le préconise la Direction Générale de la Santé (les débits de N₂O utilisés sont largement supérieurs à 2l/min.).

Pour les anesthésies utilisant un circuit d'anesthésie avec réinhalation de gaz, tout dépend du débit de N₂O utilisé.

• Influence des débits de protoxyde d'azote utilisés

Plus le débit de N₂O est élevé, plus la concentration en protoxyde d'azote est élevée. Ainsi, dans le cas d'un débit de N₂O > 1 l/min., (TA6) la probabilité de dépasser la limite de 100 ppm est de 99%. La concentration moyenne relevée est de 237 ppm, soit 10 fois la limite préconisée par la circulaire.

Dans le cas d'un débit compris entre 0,5 et 1 l/min. (TA5), la probabilité de dépasser la limite de 100 ppm est de 58%, la concentration moyenne étant d'environ 138 ppm.

Dans le cas d'un débit inférieur à 0,5 l/min., un autre paramètre apparaît sur les concentrations relevées : le mode d'induction.

1.4 - L'évaluation des expositions professionnelles

• Importance du mode d'induction

Le mode d'induction utilisé (par inhalation de $[N_2O+O_2]$) ou par injection intraveineuse (+inhalation de O_2) agit de façon significative sur le niveau de pollution ambiant, soit une concentration moyenne de 117 ppm (TA4) contre 37 ppm (TA2).

Durant l'induction par inhalation de (N_2O+O_2) , les débits utilisés sont très élevés (> 3l/min.) ; si on veut réduire la pollution engendrée par ce type d'induction il faut utiliser un

système d'évacuation actif des gaz anesthésiques.

• Le système actif d'évacuation des gaz anesthésiques

Au vu des résultats obtenus (TA1, TA3), le système actif constitue un dispositif de captage efficace même dans le cas d'un circuit ouvert (TA3) : la comparaison des résultats (TA3/TA8) montre une pollution 10 fois plus faible (37 ppm contre 393 ppm). Ce système paraît donc peu polluant, il permet de respecter les

préconisations de la Direction Générale de la Santé.

L'utilisation de ce dispositif implique des contraintes :

- 1°) Son adéquation avec le respirateur
- 2°) Un circuit de vide spécifique d'évacuation de gaz anesthésiques, indépendant du vide médical par salle d'opération.

1.4.2.4 - Les salles vides et locaux annexes

Le tableau suivant montre la dispersion des concentrations obtenues dans ce type de salle.

Type de salle	Nombre de valeurs	% de valeurs >25 ppm	% de valeurs >100 ppm	Minimum N_2O	Maximum N_2O
Réveil	109	63	18	†	490
Locaux annexes	65	63	19	†	735
Opérations vides	68	50	17	†	199

Tableau 6

Généralement, on maintient, dans les salles d'opération, une surpression pour prévenir les infections nosocomiales. Cela entraîne une diffusion des gaz et vapeurs anesthésiques vers les locaux annexes ; si le reste du bloc n'est pas équipé de ventilation générale, il arrive que les teneurs en protoxyde d'azote y atteignent des niveaux élevés, parfois comparables à ceux trouvés en salle d'opération (I1, K3, WQ4, R13, R18).

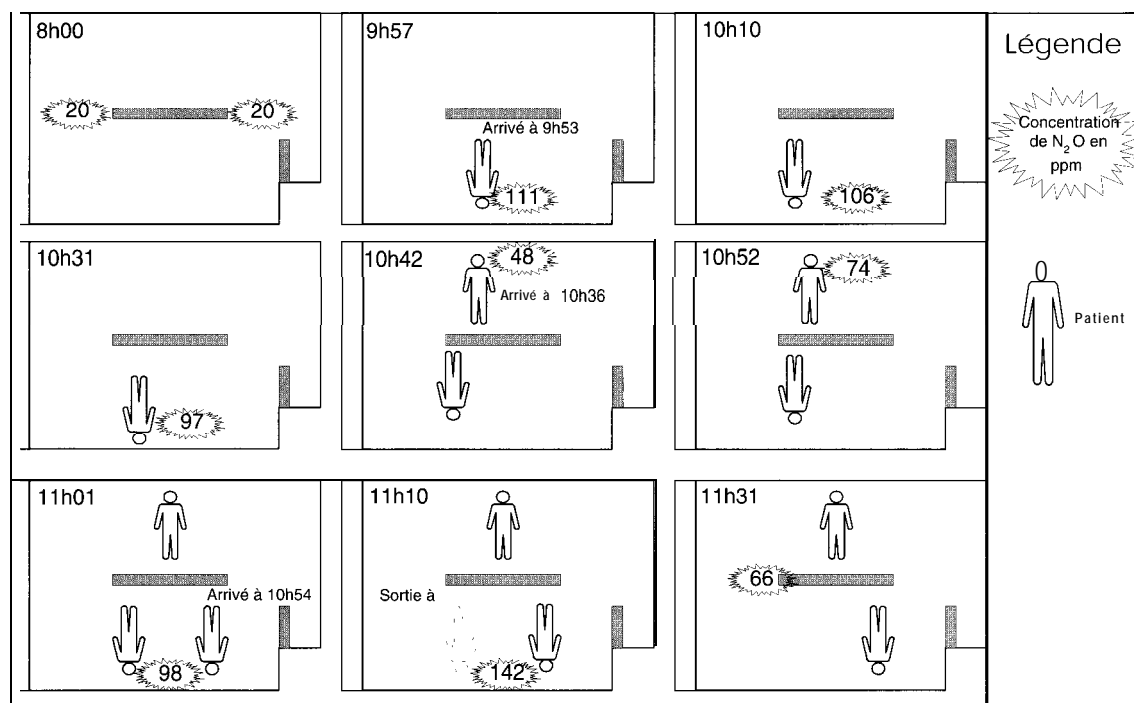
Dans certains blocs opératoires, la mise en service de la ventilation générale est manuelle. Souvent, elle est immédiatement arrêtée à la fin du cycle opératoire : ce qui peut expliquer les concentrations importantes trouvées dans des salles vides depuis la veille (P2).

Le schéma ci-après représente une salle de surveillance post interventionnelle (hôpital AJ) isolée du reste du bloc ; aucune source de

pollution de voisinage due soit à la proximité géographique des blocs soit à la ventilation générale n'est possible. Le N_2O mesuré provient strictement du relargage des patients dans la salle. Ainsi, on constate l'importance de ce relargage dans les 30 min. qui suivent l'arrivée de tout nouveau patient.

SUIVI D'UNE SALLE DE REVEIL

Evolution de la concentration en N_2O au cours des arrivées et sorties de patients endormis sous anesthésie générale



Salle située en dehors du bloc, sans canalisation de N_2O , sans ventilation

Figure 22

1.4.2.4.1 - Discussion

Le recueil des données qualitatives concernant la pratique anesthésique, le matériel, les dispositifs de ventilation, doit toujours être réalisé de façon concomitante aux prélèvements. Ce recueil est essentiel pour l'interprétation des résultats.

• **La stratégie de prélèvement choisie** présente plusieurs avantages :

- Les prélèvements de N_2O ayant été réalisés dans la zone du respirateur, emplacement relativement constant d'une salle à l'autre, les résultats sont représentatifs des niveaux de pollution auxquels sont exposés les anesthésistes, catégorie profes-

sionnelle qui serait la plus exposée [25, 41, 95] ainsi que tout le personnel présent dans la salle d'opération.

Les mesures instantanées de N_2O couplées au recueil systématique de données qualitatives ont permis de caractériser des facteurs de risque de pollution :

- . le mode d'utilisation des circuits de ventilation des malades et débits de gaz,
- . le mode d'induction,
- . la présence de fuites,
- . l'arrêt de la ventilation générale,
- . le rejet des gaz anesthésiques par les patients dans les salles de surveillance post interventionnelle,
- . le non remplacement des cartouches de charbon actif.

En cours d'intervention chirurgicale, les concentrations des différents constituants du mélange anesthésiant peuvent évoluer selon la phase de l'intervention et l'évolution de l'état général du patient ; les débits et les fréquences respiratoires peuvent aussi changer. Dans ces conditions, il semble difficile, à moins de suivre exactement les variations de ces paramètres, de tenter d'établir une corrélation entre les concentrations atmosphériques mesurées et les concentrations fixées dans le mélange inspiré.

Un monitoring sur 8 h du N_2O ou des halogénés par port de badge individuel a été développé par d'autres équipes. Ces badges N_2O (Andlauer®) ne sont pas disponibles actuellement en France. D'une utilisation plus facile, ils ne fournissent que des données concernant la



1.4 - L'évaluation des expositions professionnelles

valeur moyenne d'exposition d'un salarié.

Un autre monitoring envisageable pourrait être le monitoring instantané du N₂O ambiant par un appareil relié au respirateur ou indépendant. Ce dispositif, réclamé par certains anesthésistes, correspondrait à l'évolution de la technique anesthésique qui a intégré de nombreux paramètres de biomonitorage pour un management plus efficace des patients. L'anesthésiste pourrait lui-même surveiller le niveau de pollution ambiant et prendre les dispositions correctives pour maîtriser la pollution. Des études sont en cours, de tels appareils sont déjà disponibles.

• La ventilation :

Si les premières interventions n'ont pas donné lieu à un recueil systématique des données concernant la ventilation, les suivantes ont fait apparaître la difficulté d'obtenir des informations fiables (pas de schéma des circuits, pas de connaissance des taux de renouvellement en air neuf, pas de données sur la maintenance et l'entretien).

Les dispositions du Code du Travail [96] concernant la ventilation des locaux à pollution spécifique sont le plus souvent non respectées. Le contrôle annuel, devant permettre de s'assurer du degré de performances des installations, est rarement réalisé. Les mesures de débit sont difficiles à réaliser compte tenu de l'absence d'accès aux gaines.

Dans les salles où le renouvellement d'air annoncé est considéré comme important (22 fois par heure dans la salle C 2 ligne 6), on mesure de fortes concentrations en protoxyde d'azote.

La ventilation des blocs intervient autant dans la maîtrise de la pollution aéromicrobienne, que dans la maîtrise du risque chimique. De ce fait, il est essentiel de veiller à la qualité de ces installations, lors de leur conception et de leur entretien.

La présence simultanée de plusieurs halogénés dans une même salle d'opération, alors qu'on n'en utilise qu'un, dénote une anomalie probable du système de ventilation.

◆ LES RESULTATS :

• Masques et systèmes sans réinhalation de gaz :

Les données relevées sont comparables à celles obtenues dans la littérature en anesthésie pédiatrique [61] où elles avoisinent 500 ppm de N₂O

Il a été observé que ces anesthésies sont souvent réalisées dans des petites salles dont la ventilation est peu satisfaisante.

Il en est de même, pour les examens endoscopiques qui se font généralement sous anesthésie au masque dans des salles annexes aux salles d'opération.

• Les systèmes avec réinhalation de gaz :

- Il y aurait lieu de promouvoir l'utilisation de ces appareils en mode dit en "circuit fermé". En limitant le débit de gaz frais à, au plus, 0,5 l/min. de protoxyde d'azote, le système avec réinhalation de gaz se comporte comme un "circuit fermé", la pollution est moindre dans la salle d'opération et la consommation des fluides gazeux diminue. Pourtant, ces faibles débits n'ont été observés que dans 35% des cas.

- Il y aurait lieu d'éviter l'induction sous N₂O si l'on ne dispose pas d'un dispositif de captage actif des gaz, la pollution émise lors de la phase d'induction étant importante.

• Le système actif d'évacuation des gaz anesthésiques:

- Il convient de signaler le danger potentiel de ces systèmes actifs aux risques de défaillance du dispositif susceptible d'engendrer une dépression ou une surpression dans les voies aériennes.

D'après les résultats recueillis, le système actif d'évacuation des gaz anesthésiques permet de respecter les préconisations du Ministère de la Santé.

- Son installation est recommandée par le CNEH depuis 1989. Il s'agit d'un dispositif efficace et peu onéreux.

- Son utilisation nécessite un personnel formé et un entretien régulier ; les fuites étant possibles comme l'expérience l'a montré.

- Il serait souhaitable que soient beaucoup plus répandus des réseaux de vide spécifique sur lesquels peuvent être branchés les systèmes actifs d'évacuation des gaz ; leur installation devrait être rendue obligatoire lors des travaux de construction ou de réaménagement d'un bloc.

• Les salles de surveillance post interventionnelle et annexes :

Les résultats montrent la nécessité d'une ventilation générale du bloc opératoire.

1.4.2.1.2 - Conclusions

La campagne de mesures réalisées par le Laboratoire de Toxicologie Industrielle de la CRAM Ile de France conduit aux constatations suivantes :

- l'ensemble des partenaires concernés (direction, personnel technique, médical et paramédical) a été très sensibilisé par les résultats des mesures. Ils ont souvent découvert l'amplitude du problème. Fréquemment, les résultats ont donné lieu à la mise en oeuvre d'un plan de prévention.

- systématiquement, dans le cas des anesthésies au masque ou en circuit ouvert, on se trouve à des niveaux de pollution en protoxyde d'azote beaucoup plus élevés que ne le

préconise la Direction Générale de la Santé : ce sont des situations à traiter en priorité.

-dans le cas des systèmes ouverts et semi-fermés, la concentration ambiante des agents halogénés dépend fortement de la fréquence de remplacement des cartouches de charbon actif.

- les fuites sur les circuits de gaz et au niveau du respirateur peuvent avoir des répercussions importantes sur les concentrations atmosphériques de polluants dans la salle.

- Une forte concentration en gaz anesthésiques en salle d'opération peut entraîner la pollution de tous les autres locaux du bloc. En salle de surveillance post interventionnelle, le rejet des gaz anesthésiques par les patients voire l'utilisation éventuelle du N_2O sont les sources de pollution dérivées.

L'étude confirme qu'il est possible de réduire à des niveaux acceptables les concentrations en gaz anesthésiques en mettant en oeuvre un ensemble de mesures de prévention basées sur :

- l'utilisation de système fonctionnant à un débit de N_2O inférieur à 0,5 l/min.
- l'utilisation des modes opératoires les moins polluants :
 - . à l'induction, privilégier l'administration d'anesthésiques par voie intraveineuse et d' O_2 pur,
 - . adapter une extraction active à la source notamment lors d'anesthésies au masque,
- la ventilation des salles de surveillance post interventionnelle.

Ces mesures couplées à un système de ventilation générale alimenté à 15 volumes/heure en air neuf dans tout le bloc opératoire permettent de respecter les recommandations du Ministère de la Santé.





II. GUIDE METHODOLOGIQUE D'EVALUATION

Veiller à la qualité de l'air des locaux où sont utilisés des gaz anesthésiques :

➤ C'est une DEMARCHE

Elle a pour objectif :

Maintenir l'exposition des salariés aux niveaux les plus bas techniquement possibles afin de contribuer à la santé et la sécurité au travail.

Elle répond :

- aux réglementations relatives à la santé et la sécurité sur les lieux de travail,
- aux recommandations émises par les professionnels d'anesthésie-réanimation,
- aux recommandations d'hygiène hospitalière.

➤ C'est la vocation d'une EQUIPE

Cette équipe pourra comprendre :

- le chef d'établissement ou son représentant,
- les chefs de service concernés,
- le médecin du travail,
- le chargé de sécurité ou les responsables techniques (ingénieur biomédical, ingénieur travaux, . . .)
- les représentants du personnel médical et paramédical,
- des préventeurs institutionnels (CRAM, Inspection du Travail...).

Elle pourra se constituer dans le cadre du CHSCT ou de la Commission locale de surveillance des gaz.

Elle aura une volonté commune : mettre en commun ses compétences pour décliner chacune des étapes suivantes :

- évaluation initiale et périodique,
- détection des points critiques,
- détermination d'actions correctives,
- mise en place d'un plan d'actions,
- évaluation périodique des actions mises en oeuvre et suivi du plan.

Le suivi de ce tableau de bord correspondra à l'application d'une démarche de qualité de l'air des locaux de travail suivant ce schéma modèle.

Son succès reposera sur une large information et participation du personnel.

Le plan d'action sera établi par les opérationnels concernés, coordonné par le responsable désigné, approuvé par l'équipe et la direction de l'établissement.

Son suivi interne pourra être consigné sur des documents écrits ; les situations non conformes analysées et consignées.

L'équipe pourra décider la rédaction de protocoles d'utilisation de contrôle et de maintenance des équipements et installations qui, validés par les différentes instances, seront largement diffusés dans l'établissement.

Différentes instances, (commission locale de surveillance des gaz, CHSCT...) informées du suivi, soutiendront par l'exercice de leur mission, la dynamique de l'action.

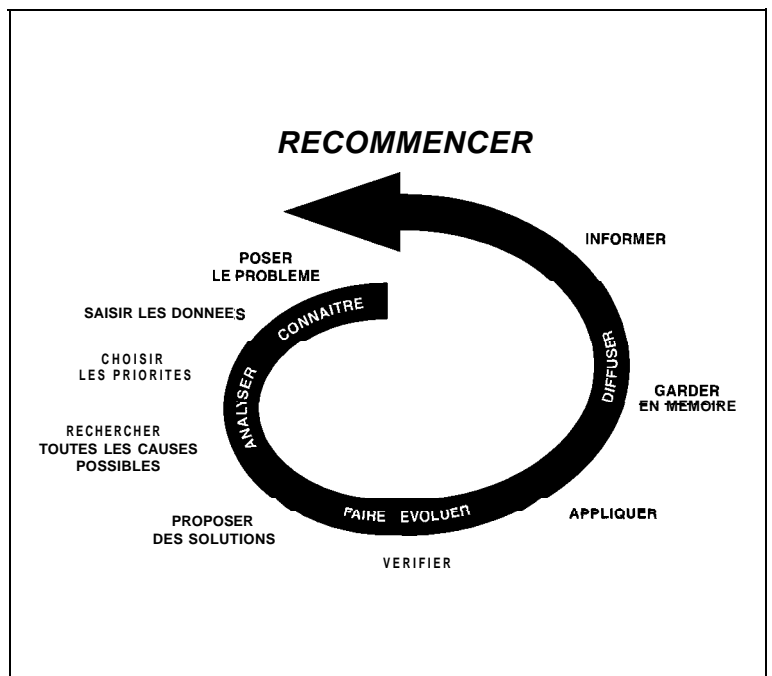
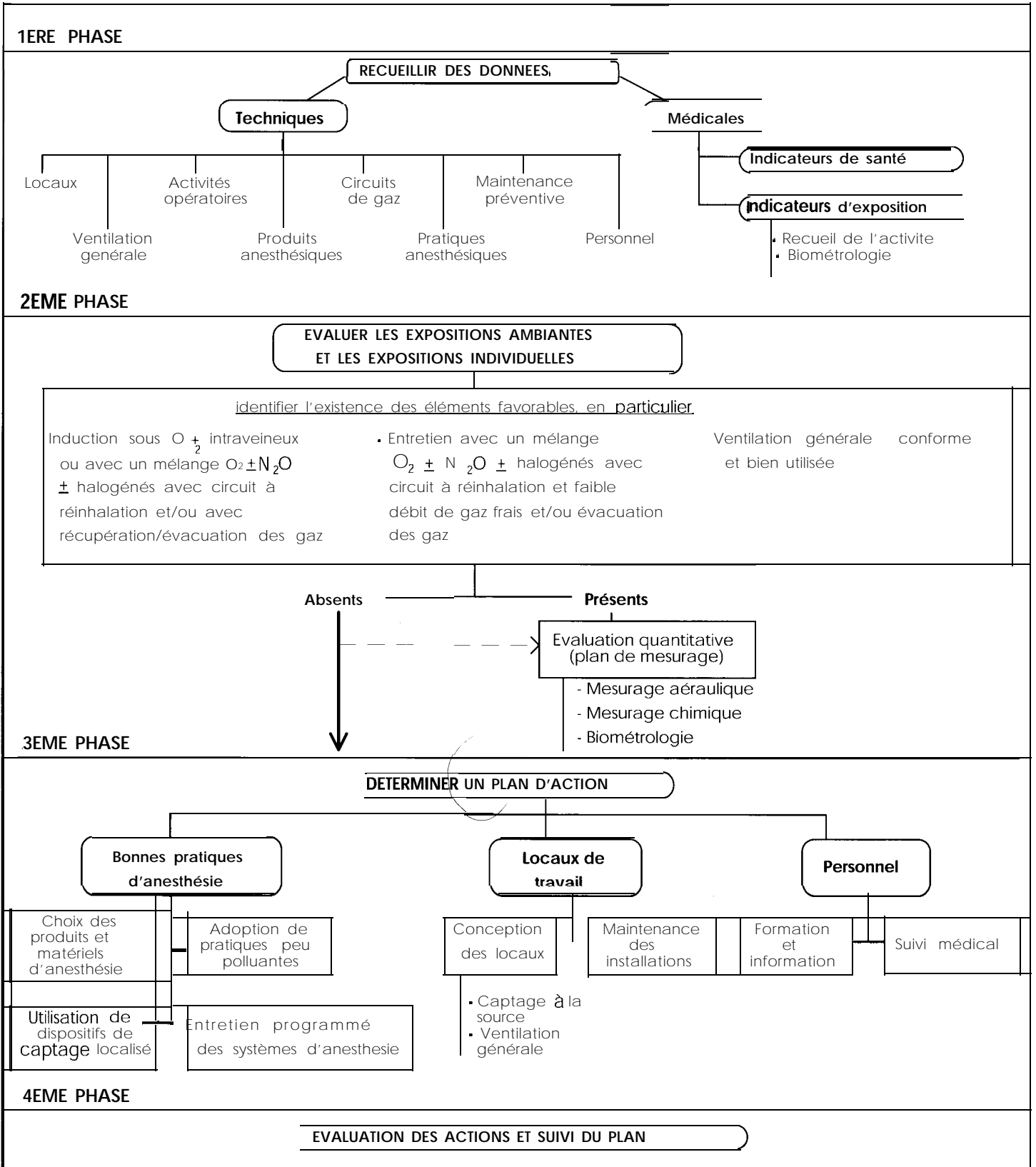


Figure 23



➤ C'est une METHODE qui comprend 4 phases





2.1 - Observer

2.1 - Observer

La première phase de la démarche se traduira par un recueil de données.

Sur le plan technique, l'évaluation de la situation initiale comprendra :

- une description de l'activité,
- un recueil des moyens disponibles et/ou mis en oeuvre pour maîtriser les expositions.

Les informations obtenues constitueront des indicateurs qualitatifs utiles au suivi périodique de la démarche de prévention.

Voici les points qui sont à examiner dans l'enquête de situation :

INDICATEUR 1 : Les locaux (disposer de préférence d'un plan des locaux)

- Les salles d'opération : nombre, localisation, caractéristiques générales.
- Où est située la salle de surveillance post-interventionnelle ?
- Idem pour les autres salles où sont utilisés des gaz et vapeurs anesthésiques : salles de naissance, d'endoscopie, d'imagerie, cabinets dentaires, locaux de maintenance...

INDICATEUR 2 : Ventilation du bloc opératoire

- Existe-t-il un schéma des installations ?
- Les salles d'opération**
 - Quels sont les dispositifs de soufflage, d'extraction ?
Quels sont les taux de renouvellement d'air ?
 - S'agit-il d'air recyclé ?
Si oui, en quel pourcentage ?
Ce pourcentage est-il modifiable ?
 - Nombre et positionnement des bouches ?
 - Mise en route automatique ou manuelle ? Horaire ?
 - Arrêt à quelle heure ?
 - Possibilité ou non d'arrêt dans la salle ?
 - Suppression ou dépression ? De quelles salles ?
- Le reste du bloc (salle de surveillance post-interventionnelle, couloir, etc.)**
 - Y a-t-il une ventilation générale du bloc ?

**INDICATEUR 3 : Activités opératoires**

- En fonction de leur catégorie, préciser leur durée, leur nombre (.../semaine/mois), le type d'anesthésie pratiquée, leur lieu habituel éventuellement.

INDICATEUR 4 : Produits anesthésiques utilisés, types et quantités

- N₂O, NO, halogénés, produits intraveineux.
(lesquels ?)
- En quelles quantités sont-ils utilisés ?
- Choisir l'unité de mesure la plus adaptée
(type d'intervention,/jour/semaine/mois..).

INDICATEUR 5 : Circuits de gaz anesthésiques

- L'arrivée des gaz se fait-elle sur prise murale ou non ?
- Dans quelles salles sont distribués les gaz ?
- Y a-t-il possibilité d'utiliser le protoxyde d'azote en salle de surveillance post-interventionnelle ?
- Où est situé le plan des vannes de sectionnement des circuits de fluide ?
- Y a-t-il des procédures d'ouverture et de fermeture des vannes ?
Si oui, quelles sont-elles ?
- Existe-t-il une procédure de remplissage des cuves de produits halogénés ? Si oui, quelle est-elle ?



INDICATEUR 6 : Pratiques anesthésiques

Type d'induction

- Sous inhalation de O_2 + injection intraveineuse.
- Sous inhalation de N_2O + O_2 .
- ...

Ventilation manuelle

- Au masque :
Quels sont les types de masques utilisés ?
- Avec une sonde d'intubation :
A quelle fréquence ? Pour quelles interventions ?
- Utilise-t-on habituellement un circuit accessoire ou le circuit machine ?

Ventilation machine

- Au masque ? Préciser les circonstances, la fréquence.
- Avec intubation ? Préciser les circonstances, la fréquence.
 - a) Respirateur sans réinhalation**
Quels sont les débits utilisés ?
Utilise-t-on des halogénés ?
 - b) Respirateur avec réinhalation**
Peut-il fonctionner à un débit inférieur à 0,5 l/min. de N_2O ?
Quels sont les débits utilisés ?
La prise d'échantillon pour les analyses de gaz est-elle réinjectée dans le circuit ?
 - c) Système actif d'évacuation**
Y en a-t-il ?
Procédures d'utilisation.
 - d) Système d'épuration au charbon actif**
Existe-t-il des cartouches de captage des gaz halogénés ?
Procédure d'utilisation.

La surveillance post-in terventionnelle

- Est-elle pratiquée en salle d'opération ? En salle de surveillance post-interventionnelle ? Ailleurs ?

**INDICATEUR 7 : Maintenance préventive**

- Maintenance et entretien périodiques et programmés des machines d'anesthésie et des réseaux de fluides à usage médical (arrêté du 3 Octobre 1995) [97]
- Ventilation du bloc opératoire, le dossier de maintenance comprend t-il :
 - . une description des méthodes, protocoles, appareillage ?
 - . les résultats des contrôles périodiques (débits et vitesses d'air, température, humidité relative, éventuellement niveau sonore de la ventilation...) ?

INDICATEUR 8 : Personnel

- Préciser sa répartition :
 - . par catégorie professionnelle (médecins, infirmiers, aides soignants, brancardiers...),
 - . par bloc,
 - . par équipe.
- Quelle information, quelle formation a-t-il reçu sur la maîtrise de la pollution des blocs opératoires ?
- Suivi médical du personnel : qui ? comment ? (Cf. § 2.3)



2.2 - Evaluer les expositions

2.2 - Evaluer les expositions

2.2.1 - Evaluation qualitative

Au terme de cette phase descriptive, deux situations peuvent se présenter en fonction de la présence ou non des éléments favorables à la maîtrise de la qualité de l'air :

- **l'induction** : pratiquée sous O₂ + intraveineux ou sous mélange O₂ ± N₂O à bas débit de gaz frais et/ou avec dispositif de récupération des gaz,
- **l'entretien** : sous O₂ + N₂O, circuit avec réinhalation et bas débit de gaz frais et/ou avec dispositif de captage/évacuation des gaz,
- **la ventilation générale** conforme et bien utilisée.

Le choix de ces éléments favorables à la maîtrise de l'exposition a reposé sur l'expérience acquise lors de l'étude réalisée en Ile de France (Cf. § 1.4) et l'analyse des données de la littérature.

Situation 1 : Un ou plusieurs éléments favorables d'exposition sont habituellement absents. Ce constat à lui seul permet d'affirmer que les moyens nécessaires à la maîtrise de la qualité de l'air sont insuffisants et doit entraîner la mise en oeuvre d'un plan de prévention.

Les actions entreprises pourront ensuite donner lieu à un plan de mesurage afin de contrôler la qualité des résultats obtenus.

Situation 2 : Les éléments favorables à la maîtrise de la qualité de l'air sont présents. La maîtrise de la qualité de l'air a été intégrée

aux objectifs de fonctionnement du service.

Il reste tout à fait utile de réaliser une évaluation quantitative des expositions ambiantes et individuelles et des conditions aérauliques.

L'équipe détermine un plan de mesurage en fonction des situations et des moyens disponibles.

Pour compléter l'évaluation, deux types de mesures sont réalisables :

- la mesure des polluants dans l'atmosphère des locaux de travail,
- la mesure des installations de ventilation générale,

Les mesurages doivent refléter les situations habituelles de travail.

Sont développés ci-après des procédures et modes opératoires possibles et préconisés.

2.2.2 - Mesurage des niveaux d'exposition aux gaz anesthésiques

Les composés présents, susceptibles d'être dosés, sont :

- le protoxyde d'azote, N₂O,
- les dérivés halogénés.

L'expérience montre que l'on peut se limiter à la quantification du protoxyde d'azote qui constitue un excellent traceur de la pollution en gaz anesthésique, ce à environ 1 m du respirateur.

Le dosage de chacun des polluants n'apporterait guère d'informations complémentaires. On sait que le mélange gazeux utilisé ne comprend pas plus de quelques % de composés halogénés ; cette proportion est effectivement re-

trouvée dans les prélèvements d'air ambiant (sauf évidemment si le gaz transite par une cartouche de charbon actif en bon état, destinée à piéger les dérivés halogénés). Le protoxyde d'azote est presque toujours présent, lorsque l'on utilise les dérivés halogénés et, à la différence de ces derniers, il diffuse parfaitement - ce qui rend relativement homogène l'air d'un même local (ce gaz a été d'ailleurs recommandé comme traceur, pour apprécier l'efficacité des systèmes de ventilation dans les entreprises). Il est peu utile dans une salle d'opération de prélever en plusieurs points de la salle notamment lors de l'évaluation initiale.



Méthodes de prélèvement et de dosage du protoxyde d'azote N₂O

Il n'existe pas de méthode normalisée pour quantifier, dans l'air, le protoxyde d'azote. On dispose cependant des méthodes suivantes :

REF.	MODE DE PRELEVEMENT	TECHNIQUE ANALYTIQUE	PARTICULARITES
1	■ en continu (séquentiel).	■ chromatographie en phase gazeuse.	■ spécifique, ■ coûteux, ■ peut surveiller successivement plusieurs points, . nécessite la présence d'un technicien si l'installation n'est pas automatique.
2	. en continu (séquentiel).	. par infrarouge classique, ■ ou détection acoustique.	. relativement spécifique dans le contexte, ■ assez coûteux, . peut contrôler plusieurs points, ■ automatique.
3	■ discontinu, sur support poreux à fabriquer (badge).	■ chromatographie en phase gazeuse avec détecteur de masse, sur le désorbant gazeux.	■ exposition minimale du badge à observer ; ce badge peut être porté par le personnel exposé, ■ exige un technicien, pour préparer les supports, et les analyser.
4	. discontinu, sur support poreux commercialisé (badge).	■ désorption thermique, suivie d'une analyse par spectrométrie infrarouge.	. méthode développée en Allemagne, . nécessite de s'adresser à un laboratoire bien équipé, . supporterait des expositions de 1 à 8 heures.
5	■ tube contenant du tamis moléculaire, branché sur une pompe.	. désorption thermique, avec chromatographie en phase gazeuse.	. présenterait l'avantage de la conservation des échantillons, ■ nécessite un laboratoire bien équipé.
6	■ ponctuel, en sachet ou en ballonnet étanche.	. chromatographie en phase gazeuse, détection par capture d'électrons.	. nécessite un technicien lors du prélèvement, et pour les analyses, ■ les échantillons ne peuvent être stockés au-delà de quelques jours. ■ cette méthode pourrait être proposée comme méthode de référence.

Tableau 7

Commentaires sur les méthodes

Dans l'ensemble, quelle que soit la méthode utilisée, les prélèvements ne doivent ni nuire à l'asepsie des salles d'opération, ni perturber les équipes chirurgicales.

• **Les méthodes 1 et 2** nécessitent l'installation de l'appareil de mesure, qui comporte une mémoire interne, avec diverses options proposées par le fournisseur de matériel de chromatographie ou

de spectrométrie infrarouge. Les installations peuvent être livrées spécifiquement pour le dosage du protoxyde d'azote, avec ou sans étalonnage automatique. Il est aussi possible d'acquérir des analyseurs plus complets destinés à identifier plusieurs composés, par exemple, les dérivés halogénés, l'oxyde d'éthylène, le formol,...

• **La méthode 2** (spectrométrie infrarouge) paraît particulièrement adaptée à la surveillance des blocs opératoires.

• **Les méthodes 3 et 4** - sur badge constitué de tamis moléculaire, ne permettent guère de suivre l'évolution de la pollution, puisque le prélèvement ne peut être bref ; elles présentent l'intérêt de la conservation de l'échantillon, pour analyse ultérieure en laboratoire. Le badge est davantage destiné à se situer par rapport à une VME.

• **La méthode 5** - prélèvement sur tube de tamis moléculaire, est séduisante : elle permettrait de suivre commodément la pollution, puisque les analyses peuvent être



2.2 - Evaluer les expositions

différées. En revanche, elle suppose l'emploi de pompes de prélèvement adaptées.

. La méthode 6 - retenue et développée par le Laboratoire de Toxicologie Industrielle de la C.R.A.M. Ile de France depuis plus de 10 ans - est spécifique, sensible, et pratique, pour situer le niveau des expositions dans les blocs opératoires. Son caractère relativement ponctuel permet, comme pour les méthodes en continu, de mettre en évidence les différentes phases de l'anesthésie. Ceci n'exclut pas la possibilité de réaliser des prélèvements sur des périodes plus longues, au moyen de pompes à très faible débit. Les échantillons peuvent être prélevés dans tous les locaux du bloc opératoire, sans contrainte. Des essais ont montré que les échantillons d'air prélevés se conservent parfaitement plusieurs jours.

Conditions des mesures :

Il est intéressant de réaliser des prélèvements avant toute utilisation de gaz anesthésiques, pour connaître la pollution résiduelle de la veille. Les courbes - par points - de la concentration en N_2O , montrent l'influence des conditions d'anesthésie. Après l'opération, il n'est pas inutile de suivre la décroissance des concentrations. Le suivi de la salle d'opération devrait être complété par un examen de tous les locaux du bloc opératoire, pour établir une cartographie de la diffusion du protoxyde d'azote.

La pollution dépendant étroitement des conditions des anesthésies, il est bon de connaître la composition des gaz utilisés avec les débits ; savoir si les appareils sont débranchés, les arrivées de gaz ouvertes ou fermées, etc. En même temps, il faut relever au mieux les conditions de ventilation

et noter si les portes sont ouvertes ou fermées.

Il va de soi que l'état des lieux est d'autant plus exact que le préleveur bénéficie de la collaboration des anesthésistes.

2.2.3 - Mesurage de la ventilation générale des salles d'opération

2.2.3.1 - Introduction

L'objectif de ce paragraphe est de présenter les différentes méthodes de mesurage des taux de renouvellement d'air dans les salles d'opération afin que la personne ou l'organisme chargé d'apprécier la ventilation des salles d'opération choisisse la méthode la plus précise possible compte tenu des conditions dans lesquelles le mesurage s'effectue.

Par ailleurs, on insiste sur le distinguo entre le taux de renouvellement d'air et l'apport en air neuf lui aussi mesuré en volumes par heure ainsi que sur la nécessité s'il existe un apport en air recyclé de connaître la quantité d'air neuf dans l'air soufflé soit par mesurage direct, soit par examen des caractéristiques nominales de l'installation.

Le document ne traite pas du mesurage de la vitesse moyenne d'écoulement d'air au voisinage de la table d'opération lorsqu'il existe une zone préférentielle laminaire car il fait l'objet d'une procédure bien définie par la norme française NF S 90-351.

2.2.3.2 - Références

- **Décrets 84-1093 et 84-1094 du 7 Décembre 1984** du Code du Travail fixant les règles relatives à l'aération et à l'assainissement des locaux de travail.

- **Arrêté du 9 octobre 1987** relatif aux mesures et contrôles pouvant

être prescrits par l'inspecteur du travail en application de l'article R 232.510, alinéa 1, du Code du Travail et méthodes de mesures et de contrôle. L'annexe traite notamment de la mesure de débit d'air dans les conduits et par exploration du champ de vitesse dans les ouvertures.

- **Norme NF S 90-351** intitulée "Procédures de réception et de contrôle des salles d'opérations - qualité de l'air" (notamment le paragraphe 6.1.5).

- **Guide pratique de ventilation INRS** "Principes généraux de ventilation" [98].

2.2.3.3 - Définitions

- **Air neuf** : air pris à l'air libre hors des sources de pollution.

- **Apport en air neuf** : rapport des débits d'air neuf soufflés (air non recyclé) au volume de la salle ou de la zone préférentielle.

- **Taux de renouvellement d'air** : rapport des débits d'air soufflés au volume de la salle ou de la zone préférentielle (définition de la norme NF S 90-351).

2.2.3.4 - Recommandations

- Le mesurage de la ventilation générale des salles d'opération ne s'effectuera pas durant les séances opératoires.

- Chaque fois que cela est possible, les **mesurages de débit** seront effectués dans les conduits ; ceci implique de disposer d'une longueur droite d'écoulement d'au moins 10 fois le diamètre hydraulique de la conduite dans laquelle le régime aéraulique est établi et que des prises de mesures soient prévues en conséquence (ainsi que les moyens d'accès).



- A défaut de possibilité de mesure dans les conduits, les mesures seront réalisées aux bouches de ventilation, de préférence à l'aide d'un balomètre de surface d'emprise proche de celle des bouches ou à l'aide d'un anémomètre associé à des cônes de mesures appropriés.

- Lorsque les conditions ne permettent pas l'usage aisé de balomètres ou de cônes, les mesures pourront être réalisées par **exploration du champ de vitesse aux bouches**. Les débits calculés à partir des résultats obtenus sont approximatifs et l'imprécision peut atteindre dans certains cas 50% du débit réel si on se contente de calculer le débit par la formule $Q = VS$, V étant la vitesse moyenne mesurée dans l'ouverture et S étant la surface de la section totale de l'ouverture.

- Quelle que soit la méthode de mesure du débit utilisée, il est recommandé d'associer à la valeur de mesurage son incertitude.

- S'il est prévu un recyclage partiel de l'air de la salle, le taux de renouvellement d'air n'est pas significatif de **l'apport en air neuf**. Pour connaître cet apport, il est nécessaire d'effectuer des mesures dans la (ou les) canalisations d'apport d'air neuf dans des conditions de régime aéraulique établi ou de connaître les caractéristiques nominales de l'installation (débits prévus, sections des canalisations, etc.).

Une autre méthode pour connaître le taux de recyclage peut consister à émettre une quantité connue d'un **gaz traceur** et à enregistrer, en plusieurs points de la salle, la décroissance de la concentration en ce gaz. Cette méthode associée à des mesures complémentaires de vitesses d'air en des points caractéristiques de l'installation de ventilation permet d'établir des valeurs de référence d'apport d'air neuf contrôlables

ultérieurement par simple mesure anémométrique.

- Les informations permettant de déceler un recyclage partiel éventuel et d'identifier les points de mesurage doivent figurer au **dossier technique de l'installation** qui comportera à cet effet notamment les éléments suivants :

- plan de l'installation de ventilation avec situation des prises d'air neuf,

- valeurs de référence mesurées à la mise en service de l'installation, ou suite à des modifications notables de celle-ci, portant sur :

- . le débit d'air extrait et le débit d'air soufflé dans chaque local, ainsi que les pressions statiques ou les vitesses d'air en différents points caractéristiques repérés sur les plans, associés à ces débits,

- . le débit d'air neuf introduit dans chaque local déterminé soit directement, soit par l'utilisation d'un gaz traceur.

- dates et résultats de mesurages ultérieurs,

- signalement des aménagements et réglages apportés à l'installation.



2.3 - Recueil des données médicales

Ce chapitre concerne les phases 1 ou 2 de la démarche. Il contribue à l'évaluation des expositions individuelles et collectives à travers un recueil de données qualitatives voire quantitatives susceptibles d'être collectivement restituées à l'équipe pilote.

La surveillance médicale des salariés s'adresse à l'ensemble du personnel des salles d'opération. Il s'agit, notamment en raison des risques liés aux expositions au sang, d'un suivi en surveillance médicale spéciale. Surveillant les conditions d'hygiène du travail et l'état de santé des travailleurs, les médecins du travail conseillent sur :

- l'adaptation des postes, techniques et rythmes de travail,
- la protection des salariés contre l'ensemble des nuisances,
- l'hygiène générale dans les établissements,
- la conception et la mise en oeuvre de programmes d'information, éducation et formation des salariés à l'hygiène, la santé et la sécurité.

• *L'affectation au travail en salle d'opération est précédée d'une visite médicale qui donnera lieu à :*

- L'ouverture d'un dossier médical où seront consignées des données médicales et des données concernant l'exposition professionnelle et l'activité de travail.

Seront recherchées les autres expositions (lasers, rayons X, CO₂ en endoscopie, désinfectants, risques biologiques, rythmes de travail).

- *Le dépistage de contre-indications éventuelles* telle une sensibilisation antérieure à l'halothane.

- *L'information du salarié* sur les risques et les principes de protection.

• *La surveillance individuelle a pour but :*

- de recueillir les plaintes et le vécu du travail,
- de suivre l'état de santé clinique et dépister une maladie professionnelle,
- de réaliser la surveillance biométriologique de l'exposition quand elle est possible,
- de suivre l'évolution des conditions de travail,
- de commenter des résultats de la surveillance métrologique d'ambiance (prélèvements d'air, mesurage de ventilation).

• *Biométriologie*

Plusieurs auteurs ont évalué l'imprégnation des salariés exposés par le mesurage dans le sang, les urines voire l'air expiré :

- soit des molécules elles-mêmes, N₂O [83, 89, 93, 99], halothane [89, 100], isoflurane [101] enflurane [102],

- soit, pour les halogénés, des métabolites :

- . l'acide trifluoroacétique [103], le fluor urinaire [104], le brome urinaire,
- . les fluorures plasmatiques [105] pour le suivi de l'isoflurane et de l'enflurane.

La mesure de l'imprégnation des salariés en substances anesthésiques par le dosage de leurs concentrations urinaires semble être un indicateur fiable (cf. tableau) plus adapté au suivi des expositions professionnelles que les dosages des métabolites qui manquent de sensibilité et spécificité [104].

Le N₂O est métabolisé par l'organisme, sa demi-vie est courte ; le dosage de N₂O urinaire est le reflet de l'exposition récente (3 à 4 heures estiment les auteurs). Les travaux ont en général relevé de bonnes corrélations entre biométriologie et métrologie individuelle. Il est conseillé d'en faire le dosage en fin de poste [101].

Les halogénés, dont la demi-vie est longue, ont une accumulation au cours de la semaine de travail. Il est conseillé d'en faire le dosage en fin de poste et fin de semaine [91, 100, 102].

Les plus importants travaux de validation de ces dosages ont été menés par une équipe italienne GHITTORI et Coll. [105] qui a suivi une population de 1590 salariés et mesuré dans l'urine, le sang voire l'air expiré les concentrations en N₂O, halothane, isoflurane, enflurane. Les comparant aux données de métrologie individuelle, ils ont obtenu des corrélations satisfaisantes, leur permettant de proposer des valeurs seuils nommées indices biologiques d'exposition reliées aux valeurs moyennes d'exposition recommandées. Nous vous les présentons dans le tableau ci-après.



Anesthésique	n (1)	Equation de régression (2) (3)	r (4)	Cu, VME (5) (µg/l)	BEEL (6) (µg/l)	CV% (7)
Protoxyde d'azote	834	$y = 0,572x + 1,584$	0,886	15,9 µ	15,5	4,8
Halothane (Fluothane®)	159	$y = 2,348x + 2,717$	0,790	7,4	6,8	5,3
Isoflurane (Forane®)	363	$y = 2,901x + 1,071$	0,811	6,9	6,4	3,4
Enflurane (Ethrane®)	234	$y = 2,054x + 2,161$	0,792	6,3	5,8	4,9

(1) n = Nombre de sujets examinés
 (2) x = Concentration environnementale moyennée sur le temps mesurée dans la zone respiratoire
 (3) y = Concentration pour les anesthésiques étudiés
 (4) r = Coefficient de corrélation
 (5) Cu, VME = Concentration urinaire correspondant à 4 h d'exposition à des valeurs VME (2 ppm pour Ethrane, Forane, Fluothane et 25 ppm pour N₂O).
 (6) BEEL = Limite biologique équivalente d'exposition (95 % de la limite inférieure de l'intervalle de confiance de l'équation de régression)
 (7) CV % = Coefficient de variation des procédures analytiques

Tableau 8

D'une façon générale, la biométrie des salariés exposés aux agents anesthésiques n'est pas développée en France. Les dosages ont été réalisés ponctuellement par quelques équipes [83, 104]. Leur utilisation plus courante tout comme celle de la métrologie d'atmosphère conduiraient à un meilleur suivi des expositions et faciliteraient l'adoption de pratiques professionnelles peu polluantes. Les coordonnées des laboratoires réalisant ces dosages peuvent être obtenues dans le guide Biotox (inventaire des laboratoires effectuant des dosages biologiques de toxiques industriels) édité par l'INRS, disponible dans les CRAM (ED 791).

III. MAITRISER LA POLLUTION

Les principes de la maîtrise de la qualité de l'air des locaux de travail développés dans ce chapitre répondent aux principes généraux de prévention définis par la loi n° 91-1414 du 31 Décembre 1991 précisés dans le décret relatif à la prévention du risque chimique du Code du Travail [106].

Tout d'abord, il paraît peu envisageable, compte tenu des techniques actuelles, d'éliminer complètement toute molécule de produit anesthésique sous forme de vapeurs ou gaz des blocs opératoires et de tous locaux où sont utilisés des produits anesthésiques.

Le but est d'en réduire les concentrations dans l'air au niveau le plus bas possible. Pour atteindre une maîtrise effective de la pollution, on dispose des moyens suivants :

- ① - choisir les produits et les matériels d'anesthésie les moins polluants,
- ② - adopter des pratiques anesthésiques peu polluantes,
- ③ - veiller à la maintenance préventive des systèmes d'anesthésie,
- ④ - adapter des dispositifs de captage localisés plutôt que des dispositifs d'absorption,
- ⑤ - veiller à la bonne utilisation de la ventilation générale et son contrôle périodique,
- ⑥ - lors de la conception des locaux de travail, prévoir des dispositifs d'évacuation des gaz et veiller à la ventilation générale,
- ⑦ - former et informer le personnel et veiller à un suivi médical adapté aux niveaux de pollution.

3.1 - Appliquer les bonnes pratiques d'anesthésie

Les Médecins anesthésistes ont la responsabilité du choix d'un système répondant aux nécessités de l'anesthésie, pour le patient et permettant de limiter la pollution ambiante au niveau le plus bas possible.

3.1.1 - Choisir les produits et les matériels d'anesthésie les moins polluants

Pour réduire les expositions aux agents anesthésiques, on peut utiliser :

- des techniques d'induction intraveineuse,

- des circuits d'anesthésie fonctionnant avec réinhalation pourvus de systèmes d'évacuation des gaz anesthésiques.

3.1.2 - Adopter des pratiques anesthésiques peu polluantes voire moins coûteuses

Un contrôle continu des concentrations en gaz anesthésiques dans les locaux de travail pourrait être utilisé pour démontrer aux personnels d'anesthésie les meilleures méthodes pour se protéger eux-mêmes et leurs collègues. Toutefois l'adoption de quelques pratiques peut réduire de façon significative la contamination des locaux.

• Vérifications avant usage :

. Les tests de vérification des machines seront faits de préférence avec l'oxygène plutôt qu'avec oxygène plus protoxyde d'azote.

. Tester les dispositifs de captage et d'évacuation des gaz pollués et veiller à la mise en service de la ventilation générale.

. Veiller à ce que toutes les connexions des circuits soient étanches.

• Bon ajustement du masque :

Disposer de masques de types et de tailles adaptées à l'anatomie du patient afin d'obtenir des ajustements aussi bons que possibles. Un système de captage localisé (par exemple un masque à double enveloppe) peut améliorer les performances.

- Mise en marche du N_2O et du vaporisateur :

N'effectuer ces mises en marche qu'après s'être assuré du bon ajustement du masque ou de la canule.

- Déconnecter les sources de N_2O en fin d'opération.

3.1.3 - Veiller à la maintenance préventive des systèmes d'anesthésie

Les fuites sont fréquentes et les pertes de gaz peuvent atteindre 8 %

Il convient de **vérifier et entretenir régulièrement et de façon programmée** les circuits gazeux ainsi que la machine d'anesthésie, afin d'éliminer toute source de fuites (raccords, embouts sertis, robinetterie, tuyaux, joints, ...) : l'utilisation d'une solution de tensioactif (par exemple de l'eau savonneuse) permet de détecter les fuites de façon simple et peu onéreuse.

En circuit fermé, la pollution sera réduite au plus bas niveau en réglant les débits de gaz au plus juste en fonction de la consommation du patient.

Il y a lieu d'impliquer les infirmières et les cadres d'anesthésie dans cette mission.

Les moniteurs de gaz peuvent être une source de pollution. Après analyse, le rejet de l'échantillon de gaz prélevé doit être raccordé au respirateur ou à un système de captage à la source.

Les unités de cryochirurgie qui utilisent le protoxyde d'azote peuvent contribuer à la pollution de la salle d'opération ; s'il n'est pas possible d'utiliser du CO_2 à la place du N_2O , ces unités doivent être équipées d'une bonne ventilation générale et si possible de

systèmes permettant le captage à la source.

La pollution due aux opérations de remplissage des évaporateurs peut être limitée en utilisant des dispositifs de transvasement qui évitent les fuites et les débordements ou à défaut être captée par des systèmes d'aspiration localisée séparés.

3.1.4 - Adapter des dispositifs de captage localisé

Lors de l'utilisation de masques ou de canules naso-pharyngées, il a été proposé d'utiliser une tente ou un capot entourant la face du patient et relié à un système d'aspiration. Il existe, également des masques à double enveloppe qui sont conçus pour ce captage (BERNER®). Le principe de ces dispositifs est d'être situé le plus près possible de la source d'émission.

Il faut également encourager l'utilisation de valves à la demande.

Captage à la source

Les débits des appareils d'anesthésie sont souvent réglés pour délivrer plus de gaz que le patient peut en absorber. En l'absence de captage, ces gaz vont diffuser dans l'air de la salle d'opération.

Les dispositifs de captage à la source sont les moyens les plus efficaces pour réduire les émissions de gaz pollués dans les salles des blocs opératoires, ils seront d'autant plus efficaces que la source d'émission sera plus importante.

Ces dispositifs doivent être conçus en fonction du système d'anesthésie pour n'induire compte tenu de la respiration du patient aucune variation de pression négative ou positive pouvant entraîner un risque pour le patient et suffisam-

ment dimensionnés pour éviter ou limiter autant que possible les rejets de gaz pollués dans l'air de la salle d'opération sans modifier notablement la ventilation générale.

3.1.5 - Dispositifs d'adsorption (efficacité, entretien, régénération)

Il existe des cartouches contenant du charbon actif que l'on fixe à la sortie des gaz expirés. Le charbon actif retient, par adsorption, les substances organiques telles que les anesthésiques halogénés volatils mais ne piège pas le N_2O . L'efficacité de ces cartouches est discutée ; pour certains auteurs elles diminuent le taux d'halothane de près de pour d'autres, elles sont à peu près inefficaces et ne justifient pas leur prix. Leur efficacité est théoriquement de 6 à 8 heures mais en situation réelle, elle ne résiste pas au delà de 1 h 30 en moyenne.

3.2 - Adapter les locaux de travail

Compte tenu de la nature des actes pratiqués, il y a lieu de considérer salles de travail et salles d'endoscopie comme des blocs opératoires. Dans tous ces locaux, doivent être mis à disposition les dispositifs médicaux nécessaires à la maîtrise de la qualité de l'air.

3.2.1 - Intégrer des dispositifs d'évacuation des gaz dès la conception

Les dispositifs d'évacuation des gaz ont pour fonction de transporter l'air pollué du dispositif de captage jusqu'à l'extérieur des locaux de travail.

Selon certains auteurs, le raccordement direct des machines d'anesthésie à l'extérieur de la salle en profitant des légères surpressions des gaz est possible. Des dispositifs d'évacuation passive des gaz peuvent être adaptés en branchant un tube raccord de gros diamètre (4 cm) qui dirige les gaz évacués vers l'extérieur de la salle ou près d'une bouche d'extraction. Les inconvénients sont un risque d'écrasement du tuyau de raccordement, un risque de surpression au niveau de la valve d'expiration si le tuyau est trop long, un risque de condensation de la vapeur d'eau. L'efficacité d'un tel système a été validé dans notre étude (Cf. page 26) et par GARDNER [72].

Il faut si possible privilégier les systèmes actifs d'évacuation des gaz pollués [107]. Le système est dit actif lorsqu'il est dédié à l'évacuation des gaz pollués et qu'il utilise pour cela un moyen à induction de flux (ventilateur, pompe ou venturi). Il sera obligatoirement indépendant du système de vide médical central ; il devra être équipé d'un dispositif signalant son fonctionnement tel

qu'une lampe témoin ou un débit mètre.

Le nombre de prises d'évacuation sera suffisant pour l'ensemble des techniques d'anesthésie qui seront mises en oeuvre. Lorsque plusieurs prises d'évacuation sont collectées dans un conduit commun on veillera à ce qu'aucun déséquilibre de pression ne se développe entre les salles d'opération.

Le rejet des gaz dans l'atmosphère se fera par un conduit séparé en un point éloigné du personnel et de toute entrée d'air, ce conformément à la circulaire DH/50 n° 307 du Ministère de la Santé [4]. Il ne devra pas être affecté par les conditions atmosphériques.

S'assurer d'une bonne adéquation entre le système de captage (intégré ou non au respirateur) et le système d'évacuation de sorte qu'il n'y ait aucune variation de pression positive ou négative, dangereuse pour le patient.

Ces points sont évoqués par la commission locale de surveillance de la distribution des gaz médicaux [70] ou le Comité équivalent chargé des gaz à usage médical et de l'aspiration.

3.2.2 - Veiller à la conception de la ventilation générale

Un système de ventilation générale ne peut suffire pour abaisser les concentrations en gaz anesthésiques en dessous des valeurs recommandées. Il doit être considéré comme un complément aux différents systèmes de ventilation locale (captage près de la source polluante) mis en oeuvre.

En effet, le calcul suivant, bien qu'approximatif, permet de démontrer qu'il serait illusoire de vouloir régler les problèmes liés à la présence de gaz anesthésiques dans l'atmosphère, en agissant uniquement sur la

puissance de la ventilation générale.

Raisonnons par exemple sur le protoxyde d'azote :

Soit une salle d'opération d'un volume de 100 m³ dans laquelle est utilisé un circuit ouvert ; le mélange anesthésique est constitué d'oxygène et de protoxyde d'azote dans des proportions égales ; le débit total est fixé à 8 l/min.

Toutes les minutes, 4 litres de protoxyde sont donc émis. Au bout d'une heure, s'il n'y a pas de renouvellement d'air, il y aura: $60 \times 4 = 240$ l de protoxyde d'azote dans les 100 m³ de la salle (100.000 l), soit encore 2.400 pour 1.000.000, c'est à dire 2.400 ppm. Si l'intervention devait durer deux heures, nous atteindrions 4.800 ppm.

Avec un taux de renouvellement de 10, ces valeurs devraient être divisées d'autant, nous aurions environ 240 ppm après une heure d'intervention. Ce chiffre (théorique) est à rapprocher de ceux observés en situation réelle dans le cas du système ouvert.

Pour obtenir une concentration de 24 ppm après une heure, il faudrait un taux de renouvellement horaire de l'ordre de 100, soit 10.000 m³/heure d'air neuf dans ce cas.

La ventilation générale ne devrait être envisagée que comme un moyen auxiliaire efficace pour contrôler les concentrations des gaz (par dilution puis évacuation) provenant de fuites, d'erreurs de manipulation et de mauvais fonctionnements des systèmes d'évacuation des ventilations locales.

Pour cela, les taux de renouvellement horaire de l'air généralement retenus sont d'environ 15 à 25 vol/h ("Understanding

anesthesia equipment” de J.A. DORSCH) [108]

Les spécifications éditées par l'OMS préconisent pour les salles d'opération un renouvellement minimum d'air des locaux de 15 vol/h.

L'article U34 du Bulletin du J.O. "Établissements recevant du public - Sécurité contre l'incendie - Établissements de soins" précise :

“Pendant toute la durée des séances respiratoires, l'atmosphère des salles d'opération et des salles d'anesthésie et de réveil associées doit recevoir un apport en air neuf au régime minimal de 15 volumes par heure, par salle avec un apport minimal d'air neuf de 50 m³ par heure, par personne susceptible d'être présente dans la salle”.

La concentration d'un gaz anesthésique peut être calculée selon l'expression suivante :

$$C = \frac{(60 \times F \times 10^6)}{N \times V \times (1-r)}$$

Avec :

F = fuite de gaz (en litres/minute)
 N = taux de renouvellement horaire (volumes/heure)
 r = fraction d'air recyclé (en %)
 V = volume de la salle (en litres)
 C = concentration de gaz anesthésique (en ppm)

A titre d'exemple, une fuite d'un débit de 0,1 l/min. dans un local d'un volume de 100 m³ dont l'air est renouvelé 15 fois par heure sans recyclage, induira une concentration atmosphérique inférieure à 5 ppm.

A taux de renouvellements d'air identiques, les systèmes à recyclage de l'air sont moins efficaces que les systèmes à extraction totale en raison de la fraction d'air pollué qui est réintroduite dans la salle après filtrage. Les filtres absolus ne retiennent pas les gaz et les vapeurs.

Une ventilation générale assurant une bonne homogénéité des écoulements d'air dans toute

la salle sans zone morte est recommandée.

Il est préférable de positionner les équipements utilisés pour pratiquer les anesthésies près des grilles d'extraction afin d'évacuer avec plus d'efficacité les éventuelles fuites accidentelles de gaz.

Il peut être intéressant de pouvoir ajuster la température de certaines salles spécifiques indépendamment des salles voisines. Un système de ventilation commun à toutes les salles ne le permet pas en général. Une ventilation dédiée à une seule salle offre en revanche cette possibilité.

3.2.3 - Assurer contrôle, entretien, nettoyage des installations de captage et ventilation

Les caractéristiques d'une **installation de captage ou de ventilation** peuvent dériver progressivement en fonction du degré d'encrassement des divers éléments de l'installation ; il est nécessaire de la soumettre à des visites régulières et à des opérations de contrôle et d'entretien [109, 110].

Le Code du Travail fixe les obligations en matière de contrôle et d'entretien des installations de captage et de ventilation (nature, fréquence...) [110]

Le chef d'établissement doit prévoir **l'organisation de contrôles périodiques**. Ces visites donneront lieu au relevé de grandeurs significatives du fonctionnement de l'installation (par exemple : vitesses d'air, débits d'air, pressions statiques dans les conduits, efficacité de captage).

L'intérêt de ces visites est d'apporter des renseignements sur l'état de l'installation, de remarquer des dérives éventuelles dans ses possibilités, de déclencher en temps utile les opérations d'entretien.

Ces contrôles périodiques doivent être réalisés sous la responsabilité du chef d'établissement, par ses propres soins, par une entreprise spécialisée ou un organisme compétent, qu'il soit agréé ou non.

Ces contrôles sont à effectuer après la première mise en service d'une installation nouvelle ou ayant subi des modifications notables, puis périodiquement.

Après la mise en service, les grandeurs aérauliques relevées et reconnues satisfaisantes constitueront des valeurs de référence à consigner dans le dossier de l'installation.

Conformément à la consigne d'utilisation, **tous les ans**, on contrôlera en particulier le débit d'air global extrait, les pressions statiques et les vitesses d'air aux points caractéristiques de l'installation, notamment au niveau des systèmes de captage et l'on effectuera l'examen de tous les éléments de l'installation.

Tous les 6 mois, si l'installation comporte un **système de recyclage**, des contrôles complémentaires seront à effectuer concernant la mesure des concentrations en polluants dans l'air recyclé et le contrôle des systèmes de surveillance.

Par ailleurs, l'inspecteur du travail peut prescrire de procéder à des mesures et contrôles autres que les contrôles périodiques, effectués par une personne ou un organisme agréé. Les dates et résultats des contrôles, les réglages et aménagements sont à consigner au **dossier de maintenance**, qui fait partie du dossier d'installation.

Ces contrôles périodiques s'ajoutent aux opérations d'entretien ou de nettoyage de l'installation, ainsi qu'au remplacement des éléments défectueux à chaque fois qu'il est nécessaire.

13.3 - Le personnel

3.3.1 - Former et informer le personnel

Il est nécessaire de porter à la connaissance du personnel une information sur les risques liés à une exposition excessive aux gaz anesthésiques et les moyens par lesquels ces risques peuvent être maîtrisés.

3.3.2 - Veiller au suivi médical du personnel

Ayant évoqué précédemment la surveillance médicale spéciale du personnel (chapitre 2.3), nous développerons ici plus spécialement l'**attitude vis à vis des femmes désirant avoir une grossesse et des femmes enceintes**.

Certains pays étrangers ont adopté des recommandations voire des dispositions réglementaires spécifiques qui prennent en compte l'évaluation des expositions [1 11, 112].

En France, l'instruction technique du 2 Mai 1985 prévoit la protection des femmes enceintes vis à vis des expositions aux rayonnements ionisants, de la station debout prolongée, des efforts physiques, du port de charges lourdes, du travail posté mais n'évoque pas spécifiquement les gaz et vapeurs anesthésiques.

Compte tenu des présomptions de risque développées précédemment notamment lors d'expositions élevées (chapitre 1.1.2), on peut proposer d'appliquer le principe de précaution se fondant sur le niveau d'exposition repérable qualitativement et si possible quantitativement.

Deux situations peuvent se produire :

1) Les expositions sont maîtrisées

L'évaluation qualitative est satisfaisante, les niveaux d'exposition sont inférieurs aux valeurs recommandées. Le risque est régulé, il n'y a pas lieu d'envisager d'action spécifique dans le cadre de la surveillance médicale particulière [48] en dehors d'un recueil systématique dans le dossier médical des informations concernant les événements de reproduction.

2) Les expositions sont élevées et mal maîtrisées (exemple : utilisation de masque, circuit ouvert ou à haut débit...)

A court terme, il est souhaitable de prendre des mesures spécifiques pour le personnel désireux d'avoir un enfant et pour les femmes enceintes, en limitant leur exposition : ces mesures sont à définir au cas par cas par le médecin du travail en concertation avec le salarié et les personnes concernées (chef de service...).

A moyen terme doivent être programmées des adaptations de postes pour l'ensemble des salariés à la recherche du niveau d'exposition le plus bas possible. Cette programmation doit être l'objet d'un plan établi en concertation entre responsable de service, direction, CHSCT et médecin du travail.

3.4 - Evaluation de l'action et suivi du plan

Ce suivi constitue la 4^{ème} phase de la démarche. Il est essentiel pour la dynamique de l'action et contribue au développement de la démarche qualité. Il s'appuiera sur le recueil des données obtenues notamment lors de la 1^{ère} phase et sur des documents de contrôle et de maintenance des équipements et installations. Il sera soutenu par les différentes instances concernées (commission locale de surveillance des gaz, CHSCT...) à qui seront communiquées ces données.

Détail de la méthode de réf. 6 développée par le laboratoire de toxicologie industrielle de la C.R.A.M. d'Ile de France

L'air est prélevé dans des ballonnets en polychlorure de vinyle, polyfluorure de vinyle - de 2 litres, au moyen d'une pompe débitant de 0,5 à 1 l/min. Au préalable, les ballonnets auront été gonflés et vidés soigneusement trois fois successivement, de façon à éliminer toute trace d'un prélèvement antérieur.

I - Principe

Le protoxyde d'azote est dosé par chromatographie gazeuse, avec un détecteur à capture d'électrons.

II - Appareillage et matériel

- Chromatographe VARIAN 3700, équipé d'un détecteur ECD, source radioactive au Nickel 63 et d'un injecteur pour injection directe.

La colonne est une PORAPLOT Q de 25 m avec un diamètre intérieur de 0,32 mm et une épaisseur de film de 10 μ (colonne CHROMPACK).

- Seringues à gaz de 250,500 et 1000 μ l.
- Ampoule en verre de 2 l, réf. CHROMPACK 012218 avec robinets Téflon aux deux extrémités et bouchon central muni de septum permettant le prélèvement de gaz.
- Pompe à vide.
- Hémioxyde d'azote médical de titre > 98 % (V/V) fourni par la CARBOXYQUE FRANÇAISE.
- Azote P fourni par la CARBOXYQUE FRANÇAISE.

III - Conditions chromatographiques

- Températures :

* injecteur : 40° c,
* détecteur : 360° c,
* four : 35° c.

- Pression colonne : 14 psi

→ **psi** : unité de pression anglo-saxonne, livre par pouce carré
1 psi = 6894,75 Pa.

- Make up colonne : 25 ml/min.

IV - Préparation et injection de l'échantillon

⇒ Remplir d'azote P l'ampoule de 2 l, où l'on a effectué le vide au préalable.

⇒ A l'aide d'une seringue à gaz, y introduire 500 µl de N₂O. On obtient un mélange gazeux étalon d'une concentration égale à 250 ppm en N₂O.

A l'aide de ce mélange, vérifier la répétabilité de la réponse du détecteur ECD, quantité injectée 200 µl ; vérifier la linéarité de la réponse avec des étalons de différentes concentrations.

V - Analyse des échantillons

Les échantillons gazeux prélevés sont injectés dans les mêmes conditions que l'étalon. Dans ces conditions analytiques, le temps de rétention du N₂O est d'environ 2 minutes.

VI - Expression des résultats

Teneur en N₂O, en ppm

$$\frac{C \times S_A}{S_E}$$

C = concentration de l'étalon en N₂O, en ppm.

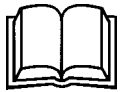
S_A = surface du pic obtenu correspondant à N₂O pour l'échantillon à analyser.

S_E = surface du pic correspondant à l'étalon de N₂O.

Remarques :

La seringue utilisée doit être nettoyée scrupuleusement après chaque prélèvement, et injection d'échantillons ou d'étalons, au moyen de la pompe à vide.

Le détecteur ECD n'est utilisé à cette température que durant les analyses. Hors analyse, il est maintenu à 200° C.



1. GOURSOT G.
L'anesthésie en France en 1996.
Résultats d'une enquête de la Société Française d'Anesthésie et de Réanimation.
La lettre de la SFAR n° 20.
Supplément aux Annales françaises d'anesthésie et de réanimation, 1997, vol. 16, n° 6
- 1 bis. HATTON F., TIRET L., MAUJOL L., N'DOYE P., VOURG'H G., DESMONTS M., OTTENI J.C., SCHERPEREL P.
Enquête épidémiologique sur les anesthésies : 1er résultats.
Annales Françaises d'Anesthésie et Réanimation, 1983, 2, 5, pp. 333-385.
2. Les Secteurs opératoires : conception, organisation, choix techniques.
Centre National de l'Équipement Hospitalier, Edition Technologie Santé, Mars 1995, 21, 152 p.
3. SOCIÉTÉ FRANÇAISE D'ANESTHÉSIE RÉANIMATION (SFAR)
Recommandations concernant l'appareil d'anesthésie et sa vérification avant utilisation
1^{ère} édition, 1994.
4. MINISTÈRE DE LA SOLIDARITÉ, DE LA SANTÉ ET DE LA PROTECTION SOCIALE
Circulaire DH/5D N° 307 relative à l'évacuation des gaz anesthésiques des salles d'opération.
Direction des Hôpitaux, 28 Août 1989.
5. BOUDEVILLE P., MALLEDANT Y., TREBAUL L.
Les gaz et anesthésiques volatils.
Collection Arnette, 1994, 153 p.
6. KOBLIN D.D., WASKELL L., WATSON J.E., STOKSTAD E.L.R., EGER E.I.
Nitrous oxide inactivates methionine synthetase in human liver.
Anesthesia and analgesia, 1982, 6, 2, pp. 5-78.
7. KOBLIN D.D., TOMERSON B.W., WALDMAN F.M.
Disruption of folate and vitamin B12 metabolism in aged rats following exposure to nitrous oxide.
Anesthesiology, 1990, 73, pp. 506-512.
8. MAZZE R.I., FUJINAGA M., BADEN J.M.
Halothane prevents nitrous oxide teratogenicity in sprague. Dawley ; folinic acid not.
Teratology, 1988, 38, pp. 121-127.
9. GUICHEBARON P, STOKLOV M.
Les gaz anesthésiques : risques toxiques et prévention.
La Tronche, IUMTE, Coll. Les Dossiers d'Infos Risques, 1993, 82 p.
10. LAYZER R.B
Myeloneuropathy after prolonged exposure to nitrous oxide.
Lancet, 1978, 2, pp. 1227-1230.
11. COHEN E.N., GIFT M.C., BROWN B.W., GREENFIELD W., WU M.L., JONES T.W., WHITCHER C.E., DRISCOLL E.J., BRODSKY J.B.
Occupational disease in dentistry and chronic exposure to trace anesthetic gases.
Journal American Dentistry Association, 1980, 101, 1, pp. 21-31.
12. EDLING C.
Anesthetic gases as an occupational hazard. A review.
Scandinavian Journal of Work and Environmental Health, 1980, 6, pp. 85-93.
13. ESTRYN-BEHAR M., SAUREL-CUBIZOLLES M.J., MAILLARD M.F., MUGNIER N., SAINT-MAURICE C.
Conditions de travail des personnels des blocs opératoires : symptômes divers observés et issues des grossesses.
Cahiers d'anesthésiologie, 1993, 41, 5, pp. 31 o-314.
14. ABDUL KAREEM H.S., SHARMA R.P., DROWN D.B.
Effects of repeated intermittent exposures to nitrous oxide on central neurotransmitters and hepatic methionine synthetase activity in CD-1 mice.
Toxicology and Industrial Health, 1991, 7, 1/2, pp. 97-108.
15. ARFINI G., MUTTI A., VESCOVI P.P., FERRONI C., FERRARI M., GIAROLI C., PASSERI M., FRANCHINI I.
Impaired dopaminergic modulation of pituitary secretion in workers occupationally exposed to styrene : further evidence from PRL response to TRH stimulation.
Journal of Occupational Medicine, 1987, 29, pp. 826-830.
16. BRUCE D.L., BACH M.J.
Effects of trace anaesthetic gases on behavioural performance of volunteers
British Journal of Anaesthesia, 1976, 48, pp. 871.
17. BRUCE D.L.
Recantation revisited
Anesthesiology, 1991, 74, 6, pp. 1160-1161.
18. CARL MAHONEY F, MOORE P.A., BAKER E.L., LETZ R.
Experimental nitrous oxide exposure as a model system for evaluating neurobehavioral tests.
Toxicology, 1988, 49, pp. 449-457
19. Comité d'experts néerlandais pour les normes de travail
Valeurs limites d'exposition professionnelle à l'hémioxyde d'azote recommandées sur une base médicale.
Ministère van de Arbeid, Postbus 90804,259LV Den Haag, Pays-Bas, 1992, 53 p., 154 ref.
20. GARFIELD J.M., GARFIELD F.B., SAMPSON J.
Effects of nitrous oxide on decision-strategy and sustained attention.
Psychopharmacologia, 1975, 42, 1, pp. 5-10.
21. COOK T., SMITH M., STARKWEATHER J., WINTER P., EGER E.
Behavioral effects of trace and subanesthetic halothane and nitrous oxide in man.
Anesthesiology, 1978, 49, pp. 419-424.
22. ALLISON R.H., SHIRLEY A.W., SMITH G.
Threshold concentration of nitrous oxide affecting psychomotor performance.
British Journal of Anaesthesia, 1979, 51, pp. 177-180.
23. VENABLES H., CHERRY N., WALDRON H.A., BUCK L., EDLING C., WILSON H.K.
Effects of trace levels of nitrous oxide on psychomotor performance.
Scandinavian Journal of Work Environmental Health, 1983, 9, pp. 391-396.
24. SYNDER B.D, THOMAS R.S, GYORKY Z.
Behavioral toxicity of anesthetic gases.
Annals of Neurology, 1978, 3, 1, pp. 67-71.
25. KORTILLA K., PFÄFFLI P., LINNOILA M., BLOMGREN E., HANNINEN H., HAKKINEN S.
Operating room nurses' psychomotor and driving skills after occupational exposure to halothane and nitrous oxide
Acta. Anaesthesia Scandinavica, 1978, 22, pp. 33-39.



BIBLIOGRAPHIE

26. LUCCHINI R., TOFFOLETTO F., GIRELLI R., DONATO F., CAMERINO D., IMBRIANI M., ALESSIO L.
Neuropsychometric evaluation in hospital workers exposed to low levels of anesthetic gases
Neurotoxicology, 1991, 12, pp. 809
27. LUCCHINI R., TOFFOLETTO F., DONATO F., SIGNORINI A., SIGNORINI C., ALESSIO L.
Neurobehavioral and neuroendocrine evaluation in operating room personnel exposed to low levels of anesthetic gases
2nd International Conference on Occupational Health for Health care workers, Stockholm, 1994
28. LUCCHINI R., TOFFOLETTO F., CAMERINO D., FAZIOLI R., GHITTORI S., GILIORI R., SIGNORINI A., ALESSIO L.
Neurobehavioral functions in operation theatre personnel exposed to anesthetic gases.
La Medicina del Lavoro, 1995, 86, 1, pp. 27-33.
- 28bis SPURGEON A.
Current approaches to neuro behavioral testing in occupational health
Occupational Environmental Health, 1996, 53, pp. 724-725
29. SAUREL-CUBIZOLLES M.J., ESTRYN-BEHAR M., MAILLARD M.F., MUGNIER N., MASSON A., MONOD G.
Neuropsychological symptoms and occupational exposure to anesthetics.
British Journal of Industrial Medicine, 1992, 49, pp. 276-281.
30. HAGEMAN H, HARTMANN B, WINTER CG, SCHELLENBERG R.
Danger of exposition to volatile anaesthetic gases for operating room personnel.
Congrès International de Médecine du Travail en milieu hospitalier. Fribourg, 1993.
31. BARLOW S.M., SULLIVAN F.M.
Reproductive hazards of industrial chemicals
London, Académie Press, 1982, 600 p.
32. CORDIERS., GOUJARD J.
Expositions professionnelles à des substances chimiques et anomalies congénitales : état des connaissances.
Revue d'Epidémiologie et Santé Publique, 1994, 42, pp. 144-159.
33. STUCKER., CAILLARD J.F., COLLIN R., GOUT M., ROYEN D., HEMON D.
Risk of spontaneous abortion among nurses handling antineoplastic drugs
Scandinavian Journal of Work and Environmental Health, 1990, 16, pp. 102-107.
34. GOLD E.B., TOMICH E.
Occupational Hazards to fertility and pregnancy outcome
Occupational Medicine, State of art reviews, 1994, 9, 3, pp. 435-469.
35. KLINE J., STEIN Z.A., SUSSER M., WARBUTON D.
Smoking : a risk factor of spontaneous abortion.
New England Journal Of Medicine, 1992, 327, pp. 793-796.
36. TASKINEN H.
Prevention of reproductive health hazards at work.
Scandinavian Journal of Work Environmental Health, 1992, 18, 2, pp. 27-29.
37. VAISMAN A.I.
Working conditions in surgery and their effects on the health of anaesthesiologists
EKSP Khiv anesteziol, 1967, 12, pp. 44-49.
38. TANNENBAUM T.N., GOLDBERG R.J.
Exposure to anesthetic gases and reproductive outcome : a review of epidemiologic literature.
Journal of Occupational Medicine, 1985, 27, 9, pp. 659-668.
39. SCHENKER M.B., SAMVELS S.S., GREEN R.S., WIGGINS P.
Adverse reproductive outcomes female veterinarians.
American Journal of Epidemiology, 1990, 132, pp. 96-106
- 39bis DUFLOT-PETIT A., VILQUIN-MARTIN S
Les risques périnataux encourus par les personnels des blocs opératoires. Enquête cas-témoin en milieu professionnel
Thèse médecine, Lille II, 1984, 199 p.
40. ROWLAND A.S, BAIRD D.D, WEINBERG C.R, SHORE D.L, SHY C.M, WILCOX A.J.
Reduced fertility among women employed as dental assistants exposed to high levels of nitrous oxide.
New England Journal of Medicine, 1992, 327, 14, pp. 993-997.
41. ROWLAND A.S., BAIRD D.D., SHORE D.L., WEINBERG C.R., SAVITZ D.A., WILCOX A.J.
Nitrous oxide and spontaneous abortion among female dental assistants.
American Journal of Epidemiology, 1995, 141, 6, pp. 531-538.
42. SAUREL-CUBIZOLLES M.J., HAYS M., ESTRYN-BEHAR M.
Work in operating rooms and pregnancy outcome among nurses.
International Archives Occupational Environmental Health, 1994, 66, pp. 235-241
43. AXELSSON G., AHLBORG G., BODIN L.
Irregular work hours, nitrous oxide exposure and reproductive failure among midwives.
2nd International Conference on Occupational Health for Health care workers, Stockholm, 1994.
44. KLEBANOFF M.A., SHIONO P.M., RHOADS G.G.
Spontaneous and induced abortion among resident physicians.
JAMA, 1991, 265, 21, pp. 2821-2825.
45. HEMMINKI K., KYRRÖNEN P., LINDBOHN M.L.
Spontaneous abortions and malformations in the offspring of nurses exposed to anesthetic gases, cytostatic drugs and other potential hazards in hospitals, based on registered information of outcome.
Journal of Epidemiology and Community Health, 1985, 39, pp. 141-147.
46. JOHNSON J.A., BUCHAN R.M., REIF J.S.
Effects of waste anesthetic gas and vapor exposure on reproductive outcome in veterinary personnel.
American Industrial Hygiene Association Journal, 1987, 48, 1, pp. 62-66.
47. GUIRGUIS S., PELMEAR P.L., ROY M.L., WONG L.
Health effects associated with exposure to anesthetic gases in Ontario hospital personnel.
British Journal of Industrial Medicine, 1990, 47, pp. 490-497.
48. Conseil d'Évaluation des Technologies de la Santé du Québec (C.E.T.S)
Les risques de l'exposition professionnelle aux gaz anesthésiques pour la femme enceinte et le fœtus.
Montréal, CETS, 1995, XI XXX P, document en préparation.



- 48bis** BOIVIN J.S.
Risk of spontaneous abortion in women occupational exposed to anaesthetic gases : a meta-analysis
Occupational Environmental Medicine, 1997, 54, pp. 541-548
49. FUJINAGA M., BADEN J.M.
Effets of nitrous oxide on rats embryos grown in culture.
Anesthesiology, 1989, 71, pp. 991-992.
50. STIJKEL A., VAN DIJK F.
Developments in reproductive risk management
Occupational and Environmental Medicine, 1995, 52, pp. 294-303.
51. SHNIDER S.M., LEVINSON G.
Anesthesia for obstetrics
Chap. 14 : Anesthesia for surgery during pregnancy.
Coll. Williams & Wilkins, 1993 (3e ed) pp. 259-280.
52. LAMBERTI L., BIGATTI P., ARDITO G., ARMELLITO F.
Chromosome analysis in operating room personel.
Mutagenesis, 1989, 4, 2, pp. 95-97.
53. PASQUINI R., MONARCA S., SCASSELATI, SFORZOLINI C., BAULEO F.A., ANGELI G., CERAMI F.
Thioethers, mutagens and D glutaric acid in urin of operating room personel exposed to anesthetics.
Teratogenicity Carcinogenicity Mutagenicity, 1989, 9, 6, pp.359-368
54. NATARAJAN D, SANTHIYA S.T.
Cytogenetic damage in operation theatre personel.
Anesthesia, 1990, 54, pp. 574-577
55. KARELOVA J., JABLONICKA A., GAVORA T., HANO C.
Chromosome and sister chromatid exchange analysis in periphcal lymphocytes and mutagenicity of urine in anesthesiology personel.
International Archives Occupational Environmental Health, 1992, 64, pp. 303-306.
56. SWEENEY B., BINGHAM R.H., AMOS R.J., PETTY A.C., COLE P.V.
Toxicity of bone marrow in dentists exposes to nitrous oxide.
British Medical Journal, 1985, pp. 291-567-569.
57. BISMUTH C.
Toxicologie clinique : Anesthésiques gazeux et volatils.
1987, 4ème ed., pp. 117-120
58. LAUWERYS
Toxicologie professionnelle, N₂O et gaz halogénés.
3ème ed., 1990pp397 et 438-441.
59. EFTHYMIU M.L.
Les gaz anesthésiques dans les blocs opératoires
Archives des Maladies Professionnelles, 1988, 4, pp. 225-253.
60. ESTRYN-BEHAR M.
Guide des risques professionnels du personel des services de soins. Les anesthésiques volatils.
Ed. Lamarre, 1991, pp. 244-260
- 60bis** BRUNT E., WHITE H., MARSH J.W., HOLTSMANN B., PETERS M.G.
Fulminant hepatic failure after repeated exposure to isoflurane anesthesia : a case report
Hepatology, 1991, 13, 6, pp. 1017-1021
61. RAY C., DRUMMOND G.B.
Halothane hepatitis.
British Journal of Anaesthesia, 1991, 67, pp. 84-99.
62. ELLIOT R.H., STRUNIN L.
Hepatotoxicity of volatile anaesthetics
British Journal of Anaesthesia, 1993, 70, pp. 339-348.
- 62bis** ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTE
Nitrogen oxides
Environmental Health Criteria 188
Genève, 1997, 550 p,
63. STOKLOV M., TROUILLER P., STIELGLITZ P., LAMALLE Y., PERDRIX A., MARKA C., DE GAUDEMARIS R., MALLION J.M., FAURE J.
L'exposition aux gaz anesthésiques : risques et prévention.
Semaine des hôpitaux de Paris, 1983, 59, 29-30, pp. 2061-2087.
64. GOMBERT C., CARON M.C.
Contamination des blocs opératoires par les gaz anesthésiques : imprégnation du personel exposé.
Thèse de Médecine, Lille, 1986.
- 64bis** CARPENTER CM., SWERDCOW A.J., FEAR N.T.
Mortality of doctors in different specialties : findings from a cohort of 20 000 NHS hospital consultants
Occupational Environmental Medicine, 1997, 54, pp. 388-395
65. DE ZOTTI R., NEGRO C., GOBBATO F.
Results of hepatic and hemopoietic controls in hospital personel exposed to waste anaesthetic gases
International Archives of Environmental Health, 1983, 52, pp. 33-41
66. FRANCO G., FONTE R., GHITTORI S.
Alcohol drinking and occupational exposure to anesthetics : a study in an operating theatre staff.
Congrès International de Santé au Travail, Nice, 1993.
67. DANG VU B., ESTRYN-BEHAR M., MAILLARD M.F., BOURDON R., SAINT-MAURICE C.
Theatre staff members and exposure to halogenated agents.
Paediatric Anaesthesia, 1992, 2, pp. 279-284.
68. Valeurs limites d'exposition professionnelle aux agents chimiques en France.
INRS, ND 1945-153-93
69. Valeurs limites d'exposition professionnelle aux substances dangereuses de l'ACGIH aux Etats Unis et de la Commission MAK en Allemagne.
INRS. ND 1962-I 55-94
70. Circulaire DGS/3A667bis du 10 Octobre 1985 relative à la distribution des gaz à usage médical et à la création d'une commission locale de surveillance de cette distribution.
71. RAJHANS G.S., BROWN D.A., WHALEY D., WONG L., GUIRGUIS S.
Hygiene aspects of occupational exposure to waste anaesthetic gases in Ontario hospitals.
International Occupational Health, 1989, 36, 1, pp. 27-45
72. GARDNER R.J.
Inhalation anesthetics - exposure and control : a statistical comparison of personal exposures in operating theatres with and without anesthetic gas scavenging.
Annals of Occupational Hygiene, 1989, 33, 2, pp. 159-173.
73. WOOD C., EWEN A., GORESKY G., SHEPPARD S.
Exposure of operating room personel to nitrous oxide during paediatric anaesthesia
Canadian Journal of Anaesthesia, 1992, 39, 7, pp. 682-686.



BIBLIOGRAPHIE

74. ARNOLD W.P.
Application of OSHA standard to waste anesthetic gases
American Society of Anesthesiologists News letter, 1992, 56, 8.
75. CARSTONI M.A., LEYTAM S., NORMAN P., DALEY D., KATZ J., SANDLER A.
Nitrous oxide in early labor
Anesthesiology, 1994, 80, pp. 30-35.
76. MUNLEY A.J., RAILTON R., GRAY W.M., CARTER K.B.
Exposure of midwives to nitrous oxide in four hospitals.
British Medical Journal, 1986, 293, pp. 1063-1064.
77. SHIP J.A.
A survey of nitrous oxide levels in dental offices.
Archives of Environmental Health, 1987, 42, 5, pp. 310-314.
78. BAIRD P.
Occupational exposure to nitrous oxide - not a laughing matter
New England Journal of Medicine, 1992, 327, 11, pp. 1026-1027.
79. HENRY R.J., PRIMOSCH R.E.
Influence of operatory size and nitrous oxide concentration upon scavenger effectiveness.
Journal of Dental Research, 1991, 70, 9, pp. 1286-1289.
80. WIGGINS P., SCHENKER M.B., GREEN R., SAMUEL S.
Prevalence of hazardous exposures in veterinary practice
American Journal of Industrial Medicine, 1989, 16, pp. 55-66.
81. GARDNER R.J., HAMPTON J., CAUSTON J.S.
Inhalation anaesthetics. Exposure and control during veterinary surgery
Annals of Occupational Hygiene, 1991, 35, 4, pp. 377-388.
82. BURKHART J.E., STOBBE T.J.
Real time measurement and control of waste anesthetic gases during veterinary surgeries.
American Industrial Hygiene Association Journal, 1990, 51, 12, pp. 640-645.
83. STOKLOV M., STIEGLITZ P., LAMALLE Y., VINCENT F., PERDRIX A., MALLION J.M., FAURE J.
L'évaluation de l'exposition des blocs opératoires par les gaz anesthésiques au centre hospitalier régional de Grenoble et les mesures de prévention mises en oeuvre.
Archives des Maladies Professionnelles, 1983, 7, pp. 499-502.
84. GANIERE-MONTEIL C., PINEAU A., SOURON R., BOITEAU H.L.
Halothane et enflurane dans les blocs opératoires : exposition et prévention.
Archives des maladies professionnelles, 1993, 54, 7, pp. 563-568.
- 84bis ROMILLAT M., BERGERET A.
Pollution par gaz anesthésiques des blocs opératoires. Résultats de nos dosages et méthodes de prévention préconisées selon les divers types d'installation
Archives des Maladies Professionnelles, 1991, 13, 6, pp. 1017-1021
85. KEDDARI N., DJAKRIR L., BAAMARA M.
Evaluation de l'exposition professionnelle à l'halothane.
Congrès International de Santé au Travail, Nice, 1993.
86. BINDING N., VOIGTLANDER D., KLEINE-ZANDER R., ZANDER J., LAWIN P., WITTING U
Exposure to volatile anaesthetics in operating theatres.
Congrès International de Médecine du Travail en milieu hospitalier. Fribourg, 1993.
87. BINDING N., VOIGT LÄBDER D., KLEINE-ZANDER R., ZANDER J., LAWIN P., WITTING V.
Efficiency of charcoal filters for absorption of halogenated volatile anesthetics in anesthesia apparatus
Occupational Health for Health Care workers - Hagberg, Hofmann, Stöbel, Westlander, 1993, pp. 252-255.
88. L'INSTITUT DE RECHERCHE EN SANTE ET SECURITE DU TRAVAIL DU QUEBEC
Evaluation et contrôle de l'exposition professionnelle aux vapeurs et gaz anesthésiants en milieu hospitalier au Québec.
Notes et rapports scientifiques et techniques, 1984, 57p.
89. STEVENS M.P., WALRAND J., BUCHET J.P., LAUWERYS R.
Evaluation de l'exposition à l'halothane et au protoxyde d'azote en salle d'opération par des mesures d'ambiance et des mesures biologiques.
Cahiers de médecine du travail, 1987, 34, 1, pp. 41-44.
90. BOHNE-MATUSALL R., RASMUSSEN H.U.
Les gaz anesthésiques dans les hôpitaux. Exposition et mesures de protection.
Bundesanstalt für arbeitsschutz. Wirtschaftsverlag NW Postfach 101110, Am Alten Hafen 113-115-D-W-2850 Bremerhaven, Allemagne, 1991, 93p.
- 90bis HOERAUF K.M., KOLLER C., TAEGER K., HOBBAHN J.
Occupational exposure to sevoflurane and nitrous oxide in operating room personnel
International Archives of Environmental Health, 1997, 69, pp. 134-138
91. GUARDINO SOLA X., GARCIA ROSELL FARRAS M.
L'exposition professionnelle aux gaz anesthésiques : un risque contrôlé.
Janus, 1992, 12, pp. 8-10
92. KANI I.J., VAN RIJSSEN M., BORM P.J.A.
Simulation of nitrous oxide concentrations in operating and recovery rooms.
Annals of Occupational Hygiene, 1990, 14, 6, pp. 575-583.
93. BORM P., KANT I., HOUBEN G., VAN RIJSSEN M., HENDERSON P.
Monitoring of nitrous oxide in operating rooms : identification of sources and estimation of occupational exposure.
Journal of Occupational Medicine, 1990, 32, 11, pp. 1112-1116.
- 93bis EICKMANN C., KLEINE H.
Berechnungsverfahren zur abschätzung der luftgetragenen gefahrstoffbelastungen am arbeitplatz
Gefahrstoffe, Reinhaltung der luft, 1996, 56, pp. 457-464
94. SCHUYT H.C., VERBERK A.M.
Measurement and Reduction of nitrous oxide in operating rooms
Journal Occupational Environmental Medicine, 1996, 38, 10, pp. 1036-1040
- 94bis CINO P.J., WEBSTER A.C.
Laryngeal mask insertion awefultip.
Anesthésia 1993, 48, 11, pp. 1011-1012.
95. SCHAPER A.
An anesthesia mask gas scavenging system.
Journal of Occupational Medicine, 1993, 35, 11, pp. 1138-1141.



96. Décret 84-1093 et 84-1094 du 7 Décembre 1984 du Code du Travail. Règles relatives à l'aération et à l'assainissement des locaux de travail.
97. Arrêté du 3 Octobre 1995 relatif aux modalités d'utilisation et de contrôle des matériels et dispositifs médicaux assurant les fonctions et actes cités aux articles D 912.43 et D 712.47 du Code la Santé Publique. J.O. du 13.10.95, p 14932-14933.
- 97bis Systèmes de distribution des gaz médicaux. Projet de norme européenne pr EN 737
98. INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE ET DE SECURITE Guide pratique de ventilation. Principes généraux N° 0, 1992.
- 98bis Umgang mit gefahstoffen in einrichkingen der humanmedi Zinischen Nersorgung, TRGS, Juin 1997
99. IMBRIANI M, GHITTORI S, PEZZAGNO G. CAPODAGLIO E. Nitrous oxide in urine as a biological index of exposure on operating room personnel. Applied Industrial Hygiene, 1988, 3, 8, pp. 223-227.
100. IMBRIANI M., GHITTORI S., ZADRA P., IMBERTI R. Biological monitoring of the occupational exposure to halothane (fluothane) in operating room personnel. American Journal of Industrial Medicine, 1990, 20, pp. 103-1 12.
101. PEZZAGNO G., GHITTORI S., IMBRIANI M., DISILVESTRO P., CAPODAGLIO E. Proposta per il monitoraggio biologico degli anestetici per via inalatoria. Giornale degli Italiani Medicin del Lavoro, 1987, 9, pp. 111-118.
102. GHITTORI S., ZADRA P., FIORENTINO M.L., IMBRIANI M. Evaluation of exposure to ethrane : biological measurements. Giornale degli Igienisti Industriali, 1991, 16, 2, pp. 43-46.
103. WEGNER R., RINCKER B., POSCHADEL B., SZADKOWSKI D. Etude de la relation entre l'exposition à l'halothane d'une équipe chirurgicale et les conditions de climatisation. Arbeitsmed. Sozialmed Praventiv Med., 1990, 25, pp. 264-270.
104. GANIERE-MONTEIL C., PINEAU A., SOURON R., BOITEAU H.L. La mesure du fluor ionisé urinaire peut-elle servir à la surveillance de l'exposition professionnelle à l'halothane ? Journal de Toxicologie Clinique et Expérimental, 1992, T 12, 4/5, pp. 259-265
105. GHITTORI S, MAESTRI C, IMBRIANI M. The biological monitoring of inhalation anaesthetics. En cours de publication, 14p.
106. Décret n° 92-1 261 du 3 Décembre 1992 relatif à la prévention du risque chimique et modifiant la section V du chapitre Ier du titre III du livre II du Code du Travail
107. THEUNYNCK D., IMBENOTTE M, VIVANT J.F., HAMRIT Utilisation d'un nouveau système d'évacuation des gaz anesthésiques. Médecine et Armées, 1991, 19, pp. 23-28.
108. DORSCH J.A., DORSCH S.E. Understanding anesthesia equipment. Construction, care and complications Chap. 11 : Controlling trace gas levels. Ed. Williams & Wilkins, 1994, Third édition.
109. ZIMMERLE J., MUHLMANN-WEILL M., KARLI A. Toxicité et problèmes d'évacuation des gaz et vapeurs anesthésiques : un problème de prévention en milieu hospitalier. Archives des Maladies Professionnelles, 1983, 44, 7, pp. 463-470.
110. Arrêté du 9 Octobre 1987 pouvant être prescrit par l'Inspecteur du Travail et méthode de mesures et de contrôle.
111. KALLEN B. Epidemiology of human reproduction CRC Press, Inc. Boca Raton, Florida, 1988, pp. 160-1 62.
112. ERICSON A., KALLEN B. Survey of infants born in 1973 or 1975 to Swedish women working in operating rooms during their pregnancies. Anesth. Analg., 1979, 58 (302).



ADRESSES UTILES

Société Française Anesthésie-Réanimation -
S.F.A.R.
74 Rue Raynouard
75016 PARIS
☎ 01.45.25.82.25 ▪ Fax : 01.40.50.35.22

Association Française des Ingénieurs Biomédicaux -
A.F.I.B.
Président : Monsieur François FAURE
Centre Hospitalier - 01012 BOURG EN BRESSE
☎ 04.74.45.41.69 ▪ Fax : 04.74.45.41.48

Association Nationale de l'Ingénierie Hospitalière et
Biomédicale - A.N.I.H.E.B.
Président : Monsieur Jean-Paul ROSSO
Secrétariat : 5 Place d'AIMAY - 69002 LYON
☎ 04 78.92.99.45 ▪ Fax : 04.72.41.04.83

Association Française de Normalisation - AFNOR
Tour Europe
92049 PARIS LA DEFENSE CEDEX
4 01.42.91.55.55 - Fax : 01.42.91.56.56

Centre National de l'Équipement Hospitalier -
C.N.E.H.
9 Rue Antoine Chantin
75014 PARIS
☎ 01.40.44.15.15 - Fax: 01.40.44.54.55

Institut National de Recherche et de Sécurité - INRS
30 Rue Olivier Noyer
75680 PARIS CEDEX 14
☎ 01.40.44.30.00

Ministère du Travail et des Affaires Sociales
Direction des Hôpitaux
8 avenue de Ségur
75350 PARIS 07 SP

CRAM D'ALSACE-MOSELLE
14 Rue Adolphe Seyboth
BP 392 R/10
67010 STRASBOURG CEDEX
☎ 03.88.14.33.00 ▪ Fax : 03.88.23.54.13

CRAM D'AQUITAINE
80 Avenue de la Jallère
33053 BORDEAUX CEDEX
☎ 05.56.11.64.00 ▪ Fax : 05.56.39.55.93

CRAM D'AUVERGNE
48/50 Boulevard Lafayette
63000 CLERMONT FERRAND
☎ 04.73.42.82.00 - Fax : 04.73.42.70.15

CRAM DE BOURGOGNE-FRANCHE-COMTE
38 Rue de Cracovie
ZAE Dijon Saint Apollinaire
21044 DIJON CEDEX
4 03.80.70.50.50 - Fax : 03.80.70.50.51

CRAM DE BRETAGNE
236 Rue de Châteaugiron
35030 RENNES CEDEX
☎ 02.99.26.74.60 ▪ Fax : 02.99.26.70.48

CRAM DU CENTRE
36 Rue Xaintrailles
45.33 ORLEANS CEDEX 1
4 02.38.79.70.00 ▪ Fax : 02.38.79.70.30

CRAM DU CENTRE-OUEST
4 Rue de la Reynie
87048 LIMOGES CEDEX
☎ 05.55.45.38.00 - Fax : 05.55.45.39.99

CRAM LANGUEDOC-ROUSSILLON
29 Cours Gambetta
34068 MONTPELLIER CEDEX 2
☎ 04.67.69.69.00 ▪ Fax : 04.67.69.68.31

CRAM MIDI PYRENEES
2 Rue Georges Vivent
31065 TOULOUSE CEDEX
☎ 05.62.14.29.30 - Fax: 05.62.14.26.92

CRAM DU NORD-EST
81/85 Rue de Metz
54073 NANCY CEDEX
☎ 03.83.34.49.01 - Fax : 03.83.34.48.70

CRAM NORD-PICARDIE
11 Allée Vauban
59661 VILLENEUVE D'ASQ CEDEX
☎ 03.20.05.65.16 - Fax : 03.20.05.63.40



CRAM DE NORMANDIE

Avenue du Grand Cours, 2022 X
76028 ROUEN CEDEX

☎ 02.35.03.46.28 - Fax : 02.35.03.58.29

CRAM DES PAYS-DE-LOIRE

7 Rue du Pt Edouard Herriot
44034 NANTES CEDEX 01

☎ 02.51.72.84.00 - Fax : 02.51.82.31.62

CRAM RHÔNE-ALPES

26 Rue d'Aubigny
69436 LYON CEDEX 3

☎ 04.72.35.88.44 - Fax : 04.72.35.88.33

CRAM DU SUD-EST

35 Rue George
13386 MARSEILLE CEDEX 5

☎ 04.91.85.85.00 - Fax : 04.95.79.01

Pour en savoir plus, rendez-vous sur
cramif.fr

**Guide pour prévenir les expositions professionnelles
aux gaz et vapeurs anesthésiques - DTE 101**
Cramif – 2^{ème} trimestre 1998

Cramif - DTE 101 - 2^{ème} trimestre 1998



**l'Assurance
Maladie**
RISQUES PROFESSIONNELS

Caisse régionale
Île-de-France