

Danger : monoxyde de carbone

par Paulette DELVALLE et Claude DUBOC,
Université Pierre et Marie Curie, Paris VI.

Les documents utilisés ont été rassemblés en prolongement des programmes dans les classes de collèges et grâce à la coopération du personnel du Laboratoire central de la Préfecture de Police de Paris (1) et de la Bibliothèque de l'hôpital Fernand-Widal (2).

INTRODUCTION.

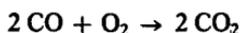
Le monoxyde de carbone, gaz incolore, inodore, sans saveur et très toxique fut mis en évidence vers la fin du XVIII^e siècle [1]. C'est en 1801 qu'il fut préparé par CLÉMENT et DÉSORMES [2] en chauffant au rouge du charbon en présence de dioxyde de carbone.

Dangereux quand il apparaît dans une réaction secondaire, il est surtout produit par toute *combustion incomplète du carbone*, soit par défaut d'oxygène, soit par abaissement subit de la température de la flamme ; certains atomes de carbone et d'hydrogène ne reçoivent pas l'énergie nécessaire à la formation de radicaux libres qui, dans la flamme, conduisent finalement à CO₂ et H₂O ; il y a alors arrêt des réactions de combustion à des états d'équilibre intermédiaires avec pour conséquences [3] :

- émission d'atomes de carbone et recombinaison de ces atomes, ce qui donne naissance aux suies, noir de carbone et graphite ;
- combinaison d'atomes de carbone avec de l'oxygène en trop faible quantité d'où formation de CO ;
- recombinaison d'atomes de carbone et d'hydrogène en hydrocarbures saturés ou non, notamment l'acétylène HC ≡ CH ;
- dégagement des composés obtenus par oxydation partielle de ces hydrocarbures (aldéhydes, acides).

La réaction : $2\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{CO}$

10 fois plus rapide que la réaction :



fait de CO l'intermédiaire de toute réaction de combustion [4].

(1) 39 bis, rue de Dantzig, 75015 Paris.

(2) 200, rue du Faubourg Saint-Denis, 75010 Paris.

La formation du monoxyde de carbone est donc le résultat d'une oxydation d'un combustible, difficile à réaliser (d'où les sources naturelles) ou du mauvais rendement d'une combustion.

Nous étudierons successivement les conséquences de la présence du monoxyde de carbone à l'extérieur des locaux (CO atmosphérique) et à l'intérieur des locaux.

I. LE MONOXYDE DE CARBONE DANS L'ATMOSPHERE.

Si l'on considère la masse des principaux polluants de l'air, le monoxyde de carbone est plus important que tous les autres réunis.

a) SOURCES NATURELLES.

Selon les estimations de plusieurs chercheurs, elles contribueraient beaucoup plus que l'homme (10 fois environ) à la production de CO [4] (SPEDDING 1974), résultat contesté par une étude plus récente (SEILER 1975).

Quoi qu'il en soit, l'oxydation du méthane, souvent appelé gaz des marais, apparaît comme la source naturelle la plus importante (77 % environ de la masse de CO émise naturellement).

Les couches superficielles des océans dégagent également une grande quantité de CO (4 %) et, dans une moindre mesure, les réactions liées à la synthèse et à la décomposition de la chlorophylle, feux de forêts, de prairies, volcans, etc. La concentration ambiante naturelle varie de 0,01 à 0,8 $\text{cm}^3 \cdot \text{m}^{-3}$.

Ces sources sont distribuées dans le monde entier et les vitesses d'émission sont très faibles, tandis que les sources humaines le sont sur de très petites surfaces où elles sont alors dominantes ; 95 à 98 % du monoxyde de carbone atmosphérique dans une région urbaine proviennent de l'homme.

b) SOURCES ASSOCIÉES AUX ACTIVITÉS HUMAINES [5].

D'après JAFFE (1973), les émissions globales de monoxyde de carbone en 1970 se sont élevées à 360 millions de tonnes (tableau 1) (600 millions de tonnes en 1973 d'après SEILER).

Le tableau 1 montre que l'élimination des déchets est responsable de 6 % de l'émission totale de monoxyde de carbone.

Un incinérateur dégage approximativement 17,5 kg de CO par tonne de déchets brûlés mais ce taux atteint 25 à 60 kg selon le type de déchets lorsque l'incinération s'opère à l'air libre (Agence des Etats-Unis pour la protection de l'environnement).

Tableau 2 :*Taux d'émission de monoxyde de carbone
dans certains processus industriels**(d'après l'agence des Etats-Unis pour la protection de l'environnement)*

Sources	Emissions (en l'absence de limitation)
<i>Raffineries de pétrole :</i>	
Unités de craquage catalytique sur lit fluidisé	39,2 kg/10 ³ litres
Unités de craquage catalytique sur lit mobile	10,8 kg/10 ³ litres
<i>Aciéries :</i>	
Fours à soufflage d'air	875 kg/tonne
Frittage	22 kg/tonne
Fours à oxygène (procédé de base)	69,5 kg/tonne
<i>Fonderies de fonte grise :</i>	
Cubilot	72,5 kg/tonne
<i>Noir de carbone :</i>	
Procédé par contact	16 750 kg/tonne
Procédé thermique	négligeable
Procédé au four	2 650 kg/tonne

24 millions de tonnes en Grande-Bretagne et 64 aux U.S.A. [6], ce dernier chiffre est évalué à 100 en 1970 selon l'O.M.S.

Toutefois, un arrêté du 31 mars 1969 a fixé à 4,5 % la teneur maximum en volume du monoxyde présent dans les gaz d'échappement lorsque le moteur tourne au ralenti à vide (*J.O.* du 17-5-1969); ceci ne s'applique qu'aux véhicules automobiles dont le poids total en charge n'excède pas 3,5 tonnes.

a) LE MOTEUR A EXPLOSION utilise toujours un mélange avec un excès de carburant par rapport à la quantité d'air nécessaire à la combustion. Or, la teneur en monoxyde de carbone des gaz d'échappement est proportionnelle à cet excès.

C'est surtout au ralenti, lors du démarrage à froid avec « starter » que cet excès de carburant est le plus important (100 à 200 %); il peut toutefois être réduit par un réglage soigneux du carburateur.

b) LE MOTEUR DIESEL fonctionnant avec un excès d'air devrait, en principe, assurer une combustion plus complète et s'il

se dégage parfois des fumées noires de certains camions, cela est souvent dû à leur surcharge ou à leur mauvais entretien sinon il faut surtout parler de nuisances olfactives (100 composés ont été identifiés dans les gaz d'échappement des diesels, certains de ces composés tels les cétones éthyléniques ou le phénol ont un pouvoir irritant sur les yeux et les muqueuses).

Teneur des gaz d'échappement en CO % :

	Régime du moteur			
	Ralenti	Accélération	Stabilisation	Décélération
Moteurs à explosion	7,0	2,5	1,8	2,0
Diesel	traces	0,1	traces	traces

D'après C. CABAL [7] d'une façon générale, les quantités de CO émises sont de l'ordre de 1 à 2 litres par minute et par cheval fiscal.

Masse en kg de CO émis par tonne de carburant.

Essence : 465,6

Gas-oil : 20,8.

Il est évident que tout le monoxyde de carbone émis n'est pas absorbé par la population car heureusement il diffuse très rapidement.

La diffusion de la plupart des polluants émis par les automobiles se fait de façon satisfaisante de sorte que, d'une part, les teneurs diminuent rapidement avec l'éloignement des voies de circulation, et que d'autre part, on observe une décroissance rapide des taux de pollution durant les heures où la circulation est faible (fig. 1).

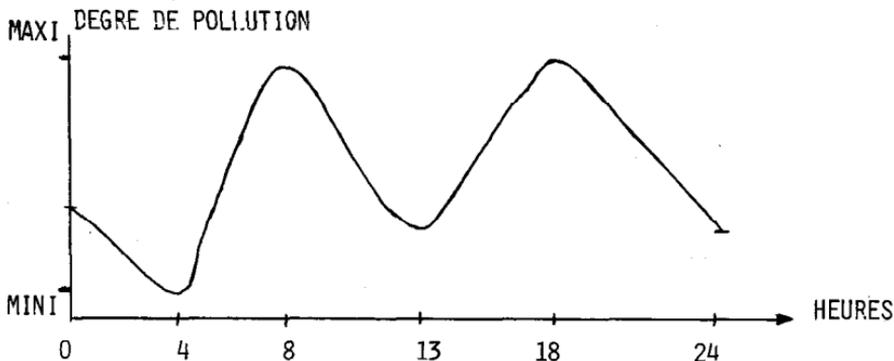


Fig. 1. — Evolution du degré de pollution au cours de la journée.

Facteurs influant sur la pollution atmosphérique.

D'après L. TRUFFERT, M. FAVART et M. GAREIN [8], la pollution oxycarbonée :

- est inversement proportionnelle à la vitesse du vent ;
- diminue rapidement en altitude pour devenir négligeable au-dessus d'une quinzaine de mètres ;
- est sensiblement proportionnelle à l'intensité de la circulation mais diminue très rapidement lorsque celle-ci s'accélère.

Le monoxyde de carbone qui peut être considéré comme représentatif de la pollution globale due aux véhicules est mesuré à proximité des voies de circulation d'une façon permanente à Paris, Lyon, Marseille, Reims, Clermont-Ferrand, Tours.

Normes de qualité de l'air ambiant.

On admet actuellement dans la plupart des pays occidentaux (R.F.A., Autriche, Belgique, Finlande, France, Italie, Pays-Bas, Suisse, Yougoslavie) les mêmes valeurs des seuils maximaux de concentration de monoxyde de carbone, à savoir :

- 40 $\text{cm}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ concentration moyenne pendant 1 heure,
- 10 $\text{cm}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ concentration moyenne sur 24 périodes de 8 heures consécutives.

Toutefois, les normes nationales de la qualité de l'air ambiant varient suivant le pays [5].

En France, le Laboratoire central de la Préfecture de Police a défini divers échelons de pollution par CO :

Teneur moyenne de l'air en $\text{cm}^3 \cdot \text{m}^{-3}$	Niveau de pollution
de 0 à 5	négligeable
5 à 10	faible
10 à 20	modéré
20 à 30	notable
40 à 50	assez élevé
50 à 60	élevé
> 60	très sérieux

« Les concentrations en monoxyde de carbone égales ou supérieures à $50 \text{ cm}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ sont considérées comme susceptibles de déclencher des intoxications professionnelles indemnisables, tableau n° 64 des maladies professionnelles » - ajout par décret n° 74354 du 26 avril 1974 [10].

Mesure du monoxyde de carbone dans la région parisienne [9].

Jusqu'en 1970, une méthode manuelle a été utilisée. Elle consistait à effectuer chaque mois en chacun des 317 sites choisis dans Paris, 4 prélèvements d'atmosphère de manière quasi instantanée : quelques secondes étaient nécessaires au gonflage de sacs en matière plastique d'une capacité d'environ 2 litres.

Les prélèvements se faisaient sur la chaussée à bord d'une automobile à l'arrêt dans le flot de la circulation et à 1 m 60 environ du sol, les sacs étaient ensuite transportés au laboratoire central de la Préfecture de Police pour examens au moyen d'analyseurs infrarouge non dispersifs.

En 1970, des appareils réalisant automatiquement échantillonnage et dosage de CO ont été installés à des emplacements réputés les plus pollués de Paris ainsi que dans 3 départements limitrophes : Hauts-de-Seine, Seine-Saint-Denis et Val-de-Marne.

L'atmosphère à examiner est prélevée à la hauteur moyenne à laquelle se trouvent les voies respiratoires d'un piéton, de 1,57 m à 1,75 m et à des distances inférieures à 20 mètres de feux de signalisation.

Le dosage de CO est effectué par un analyseur infrarouge non dispersif, les enregistrements graphiques obtenus sont alors transportés au laboratoire où leur lecture sur une table traçante permet une numérisation directe.

Résultats.

La fig. 2 montre que la concentration horaire moyenne de CO était en 1980 de l'ordre de $15 \text{ cm}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ dans le site le plus pollué de Paris, carrefour où circulent 6 000 voitures à l'heure pendant 14 heures, valeur toutefois inférieure à celle mesurée en 1972 atteignant $22 \text{ cm}^3 \cdot \text{m}^{-3}$. Cette diminution enregistrée dans tous les postes étudiés est attribuée en grande partie à l'amélioration du réglage de la carburation.

Le tableau 3 (page suivante) fait apparaître que le seuil correspondant aux moyennes sur les périodes de 8 heures (soit $10 \text{ cm}^3 \cdot \text{m}^{-3}$) est fréquemment dépassé, atteignant pour la place Victor-Basch 69,5 % des mesures effectuées en 1979, 68 % en 1980 et 70,3 % en 1981, avec un maximum de $52 \text{ cm}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ en 1981.

Pourcentages de mesures de la concentration moyenne de monoxyde de carbone pendant les vingt-quatre périodes de huit heures consécutives ayant dépassé un seuil donné de pollution pour chaque poste et pour l'ensemble des années 1979-1980-1981. Valeurs moyennes et maximales.

Poste	Nombre de mesures			Seuils (en $\text{cm}^3, \text{m}^{-3}$)									Valeurs moyennes mensuelles ($\text{cm}^3, \text{m}^{-3}$)		Valeurs maximales (en $\text{cm}^3, \text{m}^{-3}$)		
				10			20			30			1979	1980	1979	1980	81
Laboratoire Central	3502	7334		3,9	2,5		0,0	0,01		0,0	0		4,1	4,1	16	22	
Place Colette	6696	7322		0,6	5,8		0,0	0,0		0,0	0,0		3,3	5,2	14	17	
Place Mazas	4372			47,0			5,8			0,2			10,4		33		
Place Victor Basch	8319	7996	7932	<u>69,5</u>	<u>68</u>	<u>70,3</u>	23,6	26,4	31,6	1,5	3,2	7	14,7	15,2	<u>40</u>	<u>45</u>	<u>52</u>
Bd Voltaire	7397			38,2			3,8			0,0			9,3		35		
Bd Haussmann	6931	5436		13,9	13,4		0,2	0,9		0,0	0		5,7	5,8	30	28	
Place St Augustin	7645	4824		4,5	7		0,0	0		0,0	0		5,1	4,9	15		
Place Clichy	7239	6367		25,8	20,1		2,7	0,8		0,0	0		7,9	6,6	29	29	
Champs Elysées	7992	7280		16,6	26,1		0,3	2,4		0,0	0,1		6,2	7,5	24	34	
Villejuif	8230	6066		11,9	18,8		0,1	0,2		0,0	0		6,2	6,8	22	28	

Tableau 3 :

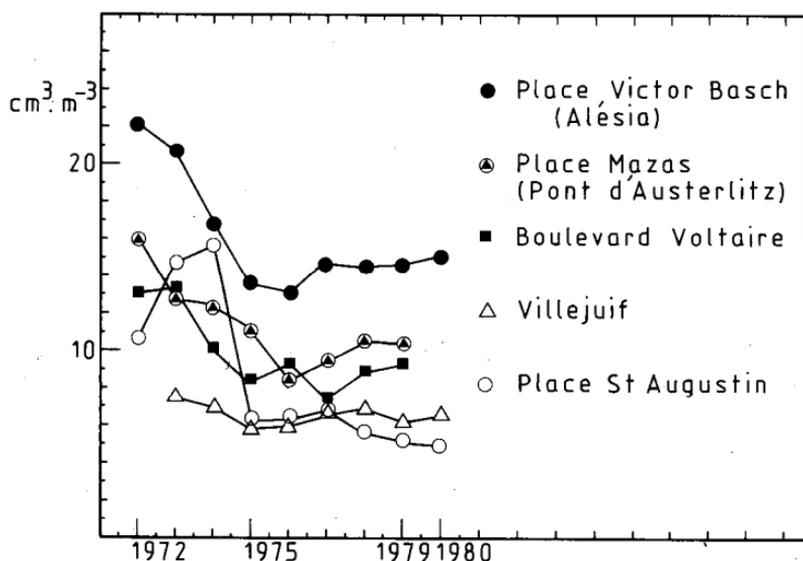


Fig. 2. — Evolution de la valeur horaire annuelle en cm^3 de CO m^{-3} d'air de quelques postes de la région parisienne fonctionnant en continu depuis 1972.

Un soin particulier doit également être apporté à la ventilation des tunnels routiers. La teneur maximale dans le tunnel de l'autoroute A 13 à Saint-Cloud pouvait atteindre en 1969 $130 \text{ cm}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ en semaine, $150 \text{ cm}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ le dimanche et dépassait parfois $200 \text{ cm}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ lors de rentrées exceptionnelles [8].

Malgré ces chiffres, le taux de monoxyde de carbone dans les villes est loin d'atteindre les doses toxiques aiguës et l'influence du tabagisme apparaît supérieure à celle de la pollution atmosphérique.

INFLUENCE DU TABAGISME.

A ce sujet, des expériences ont été réalisées sur 60 chauffeurs de taxis parisiens [11] et 208 gardiens de la paix [12].

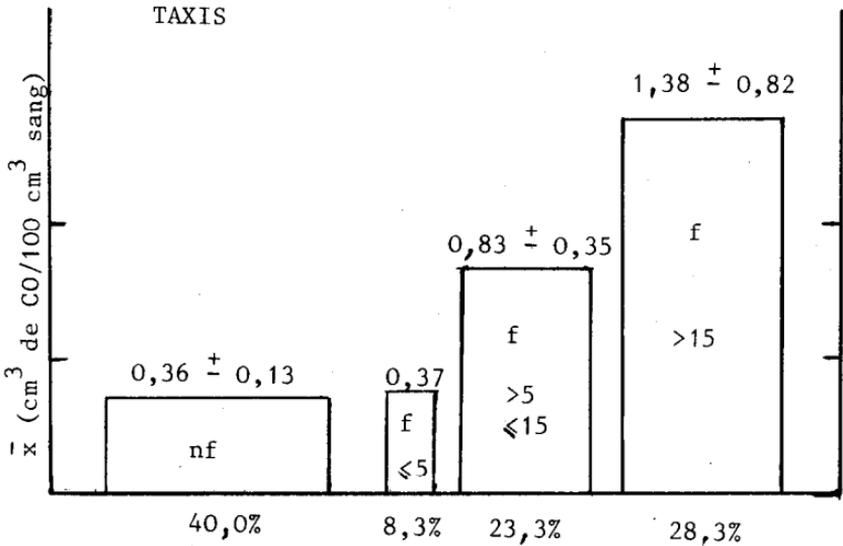
Sur le graphique suivant est porté en ordonnée le nombre de centimètres cubes de CO trouvés dans 100 cm^3 de sang des sujets étudiés, en abscisse, on trouve le pourcentage des sujets

non fumeurs (nf)

fumeurs à moins de 5 g de tabac par jour ($f \leq 5$)

fumeurs entre 5 et 15 g de tabac par jour . ($5 < f \leq 15$)

fumeurs à plus de 15 g de tabac par jour .. ($f > 15$)



Parallèlement, des expériences réalisées sur 25 sujets non fumeurs habitant Paris mais n'exerçant pas de professions particulièrement exposées, indiquaient une valeur moyenne de $0,23 \pm 0,08$ cm³ de CO/100 cm³ de sang.

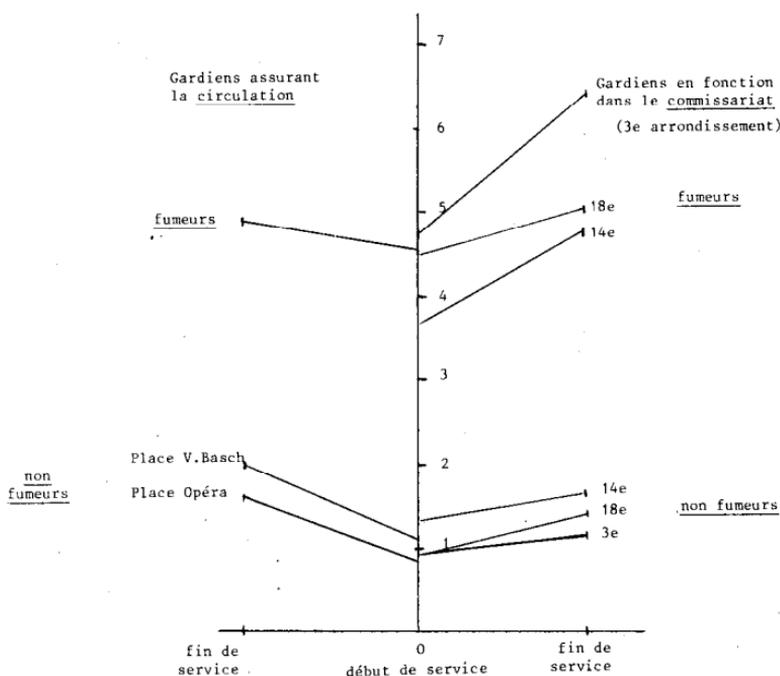
Le taux limite donné par le 64^e tableau de maladies professionnelles est de 1,5 cm³ de CO/100 cm³ de sang.

Des expériences identiques menées en Grande-Bretagne et aux U.S.A. aboutissent aux mêmes conclusions : influence prépondérante du tabagisme.

L'opération « Gardien de la paix 1981 » met en évidence, au cours du service, une nette augmentation de l'oxycarbonémie chez les gardiens fumeurs travaillant dans les commissariats (où ils continuent de fumer) tandis qu'elle est beaucoup plus faible chez les gardiens assurant la circulation (où fumer leur est interdit). Par contre, s'ils ne sont pas fumeurs, le phénomène inverse se produit, et tout en restant faible (0,35 - 0,45 cm³ de CO/100 cm³ de sang), l'oxycarbonémie a doublé au cours du service chez un gardien de la paix assurant la circulation place Victor-Basch par exemple.

Tout en étant relativement faible, la pollution atmosphérique par le monoxyde de carbone est toutefois suffisante pour accentuer chez certaines personnes des maladies liées à la diminution de capacité respiratoire ; les seuls décès connus attribuables aux

Pourcentage de carboxyhémoglobine : HbCO % (voir p. 882).



gaz d'échappement sont des cas de suicide (véhicule au ralenti dans un garage clos par exemple). Les accidents graves (non mortels) signalés à la Préfecture de Police résultaient de circonstances exceptionnelles (stationnement prolongé en atmosphère confinée [8] par exemple).

Par contre, ce sont dans les espaces clos que se produisent les milliers d'intoxications graves nécessitant une hospitalisation et les centaines d'intoxications mortelles enregistrées chaque année en France où plusieurs auteurs parlent de 8 000 cas [13]; d'une façon plus précise 153 par million d'habitants en 1979 avec 3 à 4 % de décès [14].

Il y aurait chaque année 2 500 morts par CO aux U.S.A. [15].

A ce sujet, les statistiques ne sont pas faciles à établir, car les erreurs de diagnostic sont très fréquentes, 30 % avant 1980 [14].

Le tableau 4 donne un aperçu des affaires traitées par la Préfecture de Police de Paris.

Tableau 4 :

Affaires relatives à des accidents ayant entraîné des décès ou des hospitalisations et traités en urgence en 1979-1980-1981 par le Laboratoire Central de la Préfecture de Police dans la région parisienne

	Nombre			Nombre de décès			Nombre d'hospitalisés		
	1979	1980	1981	1979	1980	1981	1979	1980	1981
Fonctionnement défectueux de chauffe-eau non raccordés à un conduit d'évacuation	108	104	83	7	7	14	161	90	92
Refoulement des gaz de combustion d'appareils de chauffage à gaz	17	16	25	—	2	6	26	13	9
Refoulement des gaz de combustion d'appareils de chauffage à charbon	32	31	25	2	4	4	32	4	12
Fonctionnement défectueux d'appareils de chauffage d'appoint	3	—	—	—	—	—	5	—	—
Utilisation d'appareils de chauffage de fortune	12	10	1	—	—	1	11	—	—
Déversement accidentel de produits divers	8	107	134	3	—	—	15	—	5
TOTAUX	180	268	268	12	13	25	250	107	118

Remarque :

Le Laboratoire Central n'est pas tenu au courant de tous les accidents. Ce bilan est donc incomplet. Les informations recueillies auprès du Parquet, font état en 1980 d'une trentaine de morts imputables à des intoxications oxycarbonées pour la seule ville de Paris [16]. (25 décès en 1981); il s'agit là uniquement d'affaires traitées dans le cadre d'expertises judiciaires n'intervenant pas dans les statistiques du Laboratoire Central. A la date du 15 septembre 1982, le nombre d'intoxications mortelles recensées par le Laboratoire Central dans Paris intra-muros depuis le début de l'année 1982 s'élevait à 32 dont 22 imputables aux seuls chauffe-eau instantanés non raccordés.

II. LE MONOXYDE DE CARBONE A L'INTERIEUR DES LOCAUX.

Le gaz naturel distribué dans les villes ne renferme pas de monoxyde de carbone comme autrefois le gaz d'éclairage dont le taux légal était 15 %. Il ne peut donc y avoir actuellement intoxication par fuite ; le gaz est devenu moins dangereux, mais il n'est pas pour autant inoffensif et les gaz de combustion émis par les installations thermiques de production d'eau chaude ou de chauffage peuvent être à l'origine d'une accumulation de monoxyde de carbone dans les locaux.

A. Dégagement direct des gaz à partir d'appareils non raccordés à un conduit de fumée.

Les gaz de combustion sont rejetés dans la pièce où se trouve l'appareil. La pression de l'air (pression atmosphérique) est égale à la somme des pressions partielles des gaz contenus dans l'air.

$$P_{\text{atmosphérique}} = PO_2 + PN_2 + PCO_2 + PH_2O + P_{\text{gaz rares}}$$

Il y a donc augmentation de PCO_2 et diminution de PO_2 d'où formation de monoxyde de carbone d'autant plus importante que l'appareil fonctionnera plus longtemps dans une pièce mal ventilée.

C'est le cas :

a) DES APPAREILS MOBILES DE CHAUFFAGE D'APPOINT.

Ils utilisent des hydrocarbures liquéfiés et doivent être munis d'un dispositif de sécurité provoquant leur arrêt quand un certain taux de pollution de l'atmosphère est atteint.

Ils sont malheureusement parfois employés comme moyens de chauffage permanent ; signalons les moyens de chauffage de fortune tous dangereux en atmosphère confinée.

b) DES CHAUFFE-EAU A GAZ DE VILLE, BUTANE OU PROPANE.

C'est actuellement la principale cause des intoxications oxy-carbonées [17]. L'étude approfondie de ces risques a été faite par J. NAGELS [18].

Le mauvais fonctionnement d'un chauffe-eau peut être dû :
— à un débit de gaz supérieur à celui prévu par le constructeur. La fig. 3 montre que l'indice de toxicité des produits de combustion (C_{CO}/C_{CO_2}) est multiplié par 10 quand le débit du gaz passe de 17,5 l.min⁻¹ (régime optimal d'un fonctionnement normal) à 24 l.min⁻¹, d'où l'importance du réglage des brûleurs et du débit ;

- le plus souvent à un encrassement du corps de chauffe résultant d'un défaut d'entretien, d'où une mauvaise combustion car il y a réduction de la quantité d'oxygène admise au niveau de la flamme ; quand la section de passage d'air est réduite de 80 %, l'indice de toxicité est multiplié par 10 ;
- à l'alimentation avec un gaz autre que celui pour lequel il a été réglé.

De plus, il ne faut pas oublier qu'un chauffe-eau en bon état produit du monoxyde de carbone s'il est utilisé d'une manière prolongée, dans un local mal ventilé et devient très dangereux si la pièce est saturée en vapeur d'eau (baisse supplémentaire de la pression partielle de l'oxygène).

$$P_{\text{H}_2\text{O}} (37^\circ\text{C}) = 47 \text{ torrs} \quad (1 \text{ torr} = 133,322 \text{ Pa}) \quad (3).$$

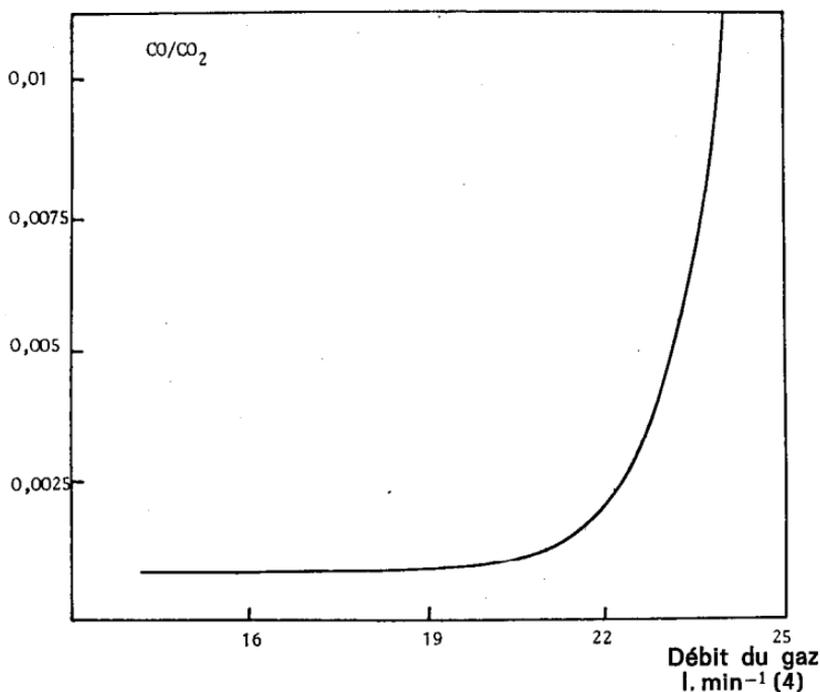


Fig. 3. — Influence du débit de gaz sur la production de monoxyde de carbone par un chauffe-eau non raccordé [18].

(diagramme reproduit avec l'autorisation de la Société Chaffoteaux et Maury).

(3) *N.D.L.R.* : Du nom de Torricelli. Unité de pression correspondant à une hauteur de 1 mm de mercure normal.

(4) Les unités ne sont pas exprimées dans le système international afin que les valeurs données soient plus évocatrices.

Une enquête demandée par le Ministère de la Santé à 16 centres anti-poison, a permis de recenser en 1 an, 800 intoxications dont 31 mortelles (données probablement sous-estimées, tous les cas n'étant pas adressés aux centres) imputables à ces petits chauffe-eau dits « instantanés ».

Devant la gravité du problème, le Ministère de la Santé dans un communiqué du 12 mars 1981 tient à rappeler [19] :

- qu'il faut veiller au bon entretien de ces appareils ;
- qu'il faut maintenir dégagés en toute circonstance, tous les orifices de ventilation ;
- qu'il faut limiter au strict nécessaire la durée d'emploi de ces appareils (5 à 8 minutes) conçus pour un usage intermittent ;
- que ces chauffe-eau ne doivent pas desservir des bacs de plus de 50 litres et plus de 3 robinets ;
- qu'il est interdit d'installer un tel chauffe-eau dans une salle de bains ou de douches ;
- que des modifications de dispositifs de sécurité obligatoires depuis le 1^{er} décembre 1978 entraînent en cas d'accident, la responsabilité de l'auteur de ces modifications ;
- qu'il est obligatoire de faire ramoner, au moins une fois par an, les conduits de fumée auxquels ces chauffe-eau peuvent être raccordés.

B. Le refoulement des gaz de combustion pour les appareils raccordés.

Il est souvent dû au *défaut de tirage* d'un conduit de fumée par suite d'une obturation partielle ou totale ou à une *défectuosité* dans l'installation de la tuyauterie de raccordement (fig. 4 [20]),

par exemple :

- mauvaise isolation thermique ;
- section trop faible ;
- partie horizontale ou peu inclinée de grande longueur. La longueur des conduits de raccordement ne doit pas dépasser 25 % de la hauteur de la cheminée ;
- changements de direction brusques ou trop nombreux.

Un mauvais tirage peut également être observé par :

- la mise en *dépression d'un local* par un ventilateur ou un autre appareil de chauffage ou de production d'eau chaude ou encore une mauvaise disposition des ouvertures ;

— un défaut d'amenée d'air dans la pièce où fonctionne l'appareil. Il y a danger à calfeutrer portes et fenêtres.

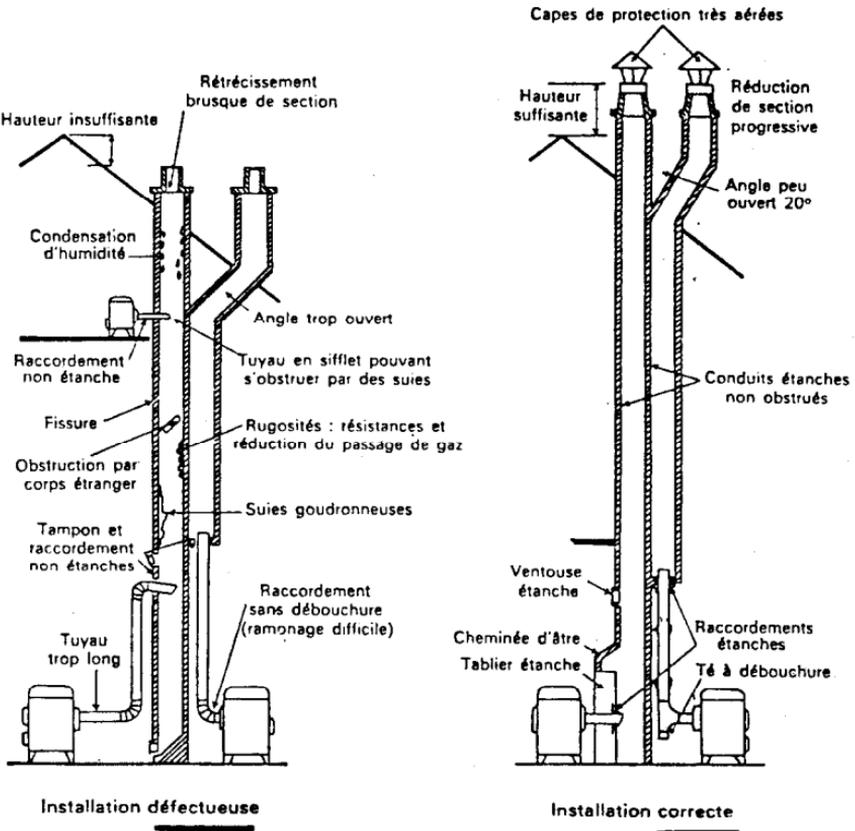


Fig. 4. — Installations de cheminée de poêles individuels.

La stabilité du tirage naturel est difficile à réaliser car elle dépend des conditions atmosphériques extérieures : vents variables créant pression ou dépression au-dessus des cheminées et températures variables provoquant souvent des refoulements des gaz de combustion. Il faut éviter le fonctionnement ralenti des appareils quand la température extérieure augmente.

Le tirage nécessaire à une bonne combustion varie d'un millimètre de colonne d'eau (10 pascals) pour les appareils domestiques, à plusieurs dizaines de millimètres d'eau pour les appareils de grande puissance.

Le constructeur de l'appareil doit indiquer la valeur de la dépression nécessaire à sa bonne marche.

Les poêles à feu continu, du fait de la température basse de leurs fumées, *devraient être raccordés directement à la gaine de cheminée* [21], principalement les appareils modernes de rendement élevé (70 à 75 %); quand ils marchent au ralenti, les fumées sont évacuées à des températures atteignant à peine la moitié de celles des appareils anciens. Le tirage qui dépend de la température des gaz, ne pourra se faire si cette température est encore abaissée par une trop grande longueur de tuyau.

Avec les appareils anciens (rendement de 50 % environ), la moitié de la chaleur produite par la combustion était évacuée par la cheminée; on installait donc des tuyaux assez longs pour récupérer une partie de cette chaleur.

Or, certains utilisateurs remplacent leur appareil de chauffage mais gardent la même installation.

La stabilisation du tirage peut être obtenue par la mise en place d'un appareil anti-refoulement et par l'installation d'un régulateur de tirage.

D'après les résultats d'une enquête du Centre Scientifique et Technique du bâtiment publiés en 1964, un quart des conduits de fumée en service à Paris était en mauvais état [20].

Assurer l'évacuation du monoxyde de carbone formé au cours de la combustion est donc la meilleure prévention de l'intoxication oxycarbonée, mais il est indispensable de réaliser cette combustion dans des conditions qui en assurent une formation minimale, c'est-à-dire *une bonne adaptation du combustible à l'appareil de chauffage*.

Avec des combustibles *liquides ou gazeux*, un réglage soigneux des brûleurs permet d'obtenir des gaz de combustion d'une teneur en CO inférieur à 0,1 %, par contre il n'en est pas de même avec les combustions solides.

Foyers de chauffage individuel au charbon [20].

Ils sont de deux types (fig. 5).

a) APPAREILS A COMBUSTION A TRAVERS LA MASSE.

Ils donnent un chauffage intense, rapide mais irrégulier.

Des gaz combustibles appelés « matières volatiles » se dégagent de la houille chauffée vers 800-1000 °C, s'enflamment et avant d'atteindre les conduits de fumées, traversent toute la charge de combustible dont les matières volatiles se trouvent entraînées vers des régions de plus en plus éloignées de la zone de combustion par des gaz très appauvris en oxygène; ils ne peuvent plus alors brûler; d'où dépôt de suie, goudron et formation de monoxyde de carbone.

Pour combattre ce risque :

- il faut que l'épaisseur de charbon disposé sur la grille du poêle ne dépasse pas 10 fois le calibre moyen de ce charbon.

Certains constructeurs prévoient :

- une grille de façade qui distribue un appoint d'air ;
- des parois nervurées qui facilitent le cheminement de l'air et ainsi la combustion du monoxyde de carbone éventuellement formé dans les parties supérieures du charbon ;
- des entrées d'air secondaires par la porte de chargement des chaudières.

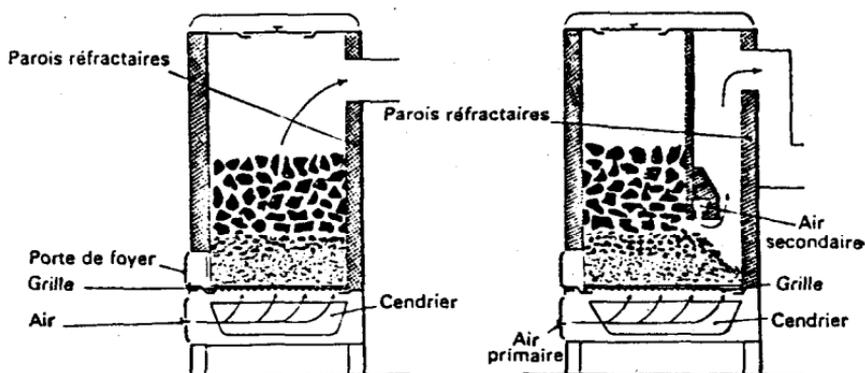
L'alimentation doit se faire avec des charbons maigres ou agglomérés défumés, ne dépassant pas 10 % de matières volatiles. D'ailleurs, un arrêté du 11 août 1964 interdit pour Paris l'emploi de charbon dont la teneur en matières volatiles serait supérieure à cette valeur ; le boulet ordinaire est à proscrire.

Citons le manque de ressources générales dans le monde, en calibrés maigres et anthraciteux qui ne représentent que 8 à 10 % de la production globale du charbon.

De même, un pouvoir agglutinant important du charbon entraîne la formation de congglomérats peu perméables à l'air, d'où une mauvaise combustion.

b) APPAREILS A COMBUSTION EN COUCHE MINCE.

Dans ces appareils, les gaz ne traversent que la partie du combustible constituant la couche mince avant de gagner le



Poêle à combustion « à travers la masse ».

Poêle à combustion « en couche mince ».

Fig. 5. — Poêles à combustibles solides.

conduit de fumée, il y a inflammation et combustion progressive du charbon qui s'écoule sur la grille au fur et à mesure des besoins.

Il y a donc une réduction considérable des risques de formation de monoxyde de carbone, étant donné la faible épaisseur de la couche de charbon traversée par l'air et les gaz de combustion.

En conclusion, le chauffage individuel au charbon demande certaines précautions d'utilisation qui convergent toutes sur les meilleures conditions pour obtenir *la combustion complète du charbon* :

- un appareil bien adapté et bien entretenu, alimenté avec les combustibles prévus pour son emploi ;
- dans une *pièce aérée* ;
- une cheminée en parfait état assurant un excellent tirage.

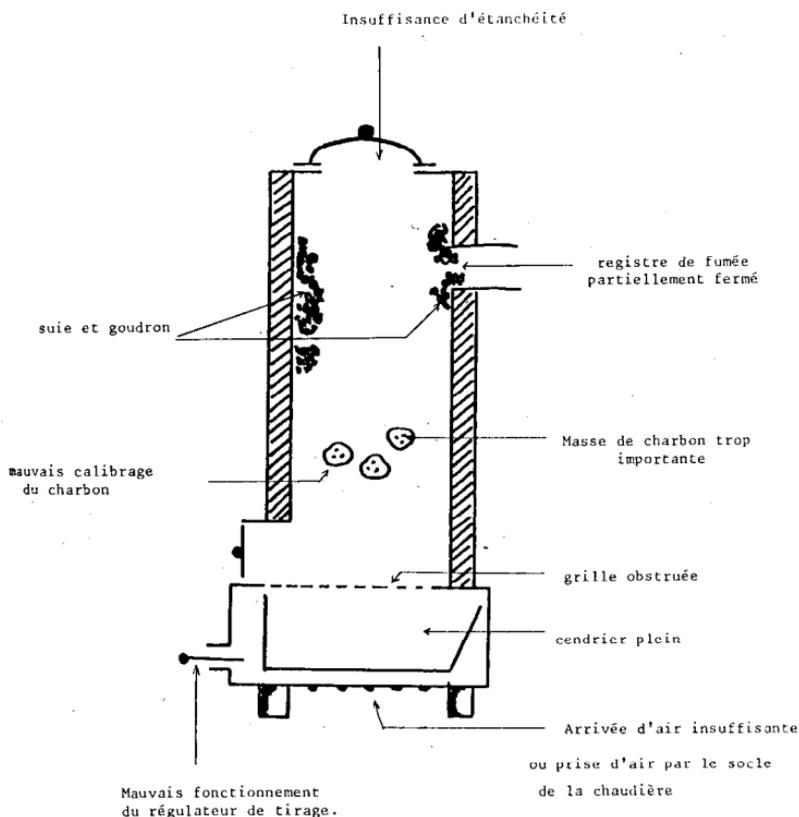


Fig. 6 [18].

Il faut toujours éviter le fonctionnement au RALENTI quand la température extérieure s'élève.

Les charbonnages de France ont créé des centres d'études et de documentation pour l'utilisation du charbon (C.E.D.U.C.) pour la région parisienne, il s'agit de la société d'entretien et de dépannage des appareils à charbon (S.P.E.D.A.C.).

La fig. 6 résume les différentes causes du mauvais fonctionnement d'un poêle.

C. Parcs de stationnement.

Les seuils maximaux de pollution par CO sont fixés par la circulaire du 3 mars 1975 du Conseil d'Hygiène de Paris ; ce sont :

50 $\text{cm}^3.\text{m}^{-3}$ teneur moyenne sur 8 heures consécutives,

100 $\text{cm}^3.\text{m}^{-3}$ teneur moyenne sur 20 minutes,

200 $\text{cm}^3.\text{m}^{-3}$ teneur instantanée.

Il est extrêmement difficile de faire respecter ces normes, surtout en permanence, comme le montrent les contrôles effectués régulièrement par le Laboratoire de la Préfecture de Police.

Dans des garages fermés d'une capacité de 300 à 500 véhicules où la ventilation se fait uniquement par l'entrée, on a trouvé une concentration moyenne du monoxyde de carbone entre 8 h et 17 h de 62,6 $\text{cm}^3.\text{m}^{-3}$ en été et 53 $\text{cm}^3.\text{m}^{-3}$ en hiver.

Dans un garage de la police à Paris, on a observé une concentration moyenne de monoxyde de carbone dans l'air atteignant 149,6 $\text{cm}^3.\text{m}^{-3}$ entre 7 h 30 et 8 h et 179 $\text{cm}^3.\text{m}^{-3}$ entre 19 h 30 et 20 h (CHOVIN 1967). De même TROMPES et AL. (1964) ont relevé une concentration moyenne de 97,4 $\text{cm}^3.\text{m}^{-3}$ dans 12 garages souterrains de Rome ; la concentration maximale enregistrée était 498,5 $\text{cm}^3.\text{m}^{-3}$.

Une étude a été réalisée dans les parkings en dosant CO au niveau de certains postes de travail et dans le sang des travailleurs qui les occupent [22].

Samedi entre 17 et 18 heures

Parking X	extérieur du parking	4 $\text{cm}^3.\text{m}^{-3}$
	bureau d'entrée	35 $\text{cm}^3.\text{m}^{-3}$
	sortie	182 $\text{cm}^3.\text{m}^{-3}$
	intérieur de la cabine de péage	
	niveau 1	37 $\text{cm}^3.\text{m}^{-3}$
	niveau 2	40 $\text{cm}^3.\text{m}^{-3}$
	niveau 3	106 $\text{cm}^3.\text{m}^{-3}$
Parking Y	intérieur du bureau d'entrée	90 $\text{cm}^3.\text{m}^{-3}$
	sortie du parking	234 $\text{cm}^3.\text{m}^{-3}$
	intérieur de la cabine de péage	214 $\text{cm}^3.\text{m}^{-3}$

Parking X : Les bouches d'aération des caisses avaient été obstruées par le personnel pour éviter les courants d'air.

Parking Y : L'analyseur de CO était hors d'usage depuis longtemps et la commande manuelle de ventilation était confiée à l'initiative du caissier responsable.

Pour ces auteurs, la sécurité des employés repose essentiellement sur le bon fonctionnement et la fiabilité des appareils enregistreurs de parking qu'il importe donc de faire vérifier et étalonner fréquemment.

En ce qui concerne l'oxycarbonémie, l'étude a porté sur 8 employés et montre (tableau 5 et fig. 7) une très nette augmentation, dépassant même pour 3 d'entre eux les normes fixées par la législation du travail, entre le début de semaine avant le service et la fin de semaine après le service ; le dosage simultané de nicoturie permet d'éliminer l'effet du tabac (il avait été demandé aux sujets de s'abstenir de fumer pendant la durée de l'expérience).

Une étude identique avait été réalisée par RAMSEY [23] chez 14 employés d'un parking intérieur où ils étaient exposés à une concentration moyenne de 59 cm³ de CO par m³ d'air ; l'oxycarbonémie était multipliée par 5 au cours de la journée. Un soin tout particulier doit donc être apporté à l'étude et à l'entretien des systèmes de ventilation, à l'étanchéité des gaines d'aération qui traversent les parcs de stationnement afin d'éviter toute intercommunication avec les locaux d'habitation, comme c'est trop souvent le cas dans les immeubles lorsque l'unique aération des salles de bain est en relation directe avec le parking, ou comme ce fut le cas pour une piscine dans une tour célèbre à Paris...

Tableau 5 et figure 7 :

Oxycarbonémie et nicoturie chez les employés A, B,... F selon qu'ils sont fumeurs (+) ou non fumeurs (—) lors des premier (I) et second (II) examens.

Le sujet G avait été présumé non fumeur (±).

Les droites en pointillés signifient

qu'une seule nicoturie a pu être effectuée

soit lors du 1^{er} prélèvement (sujet A) soit lors du 2^e (sujet F)

Employés	Nicoturie		Oxycarbonémie	
	mg/l	mg/l	cm ³ /100 cm ³	cm ³ /100 cm ³
	I	II	I	II
A	0,25		0,75	1,25
B	0,05	0	0,5	0,88
C	0,13	traces	1	1,8
D	traces	0	0,65	1,7
E	0,23	0,12	0,75	1,5
F		0	0,8	1,2
G	3	0	1,1	0,35
H	traces	0	0,85	1,4

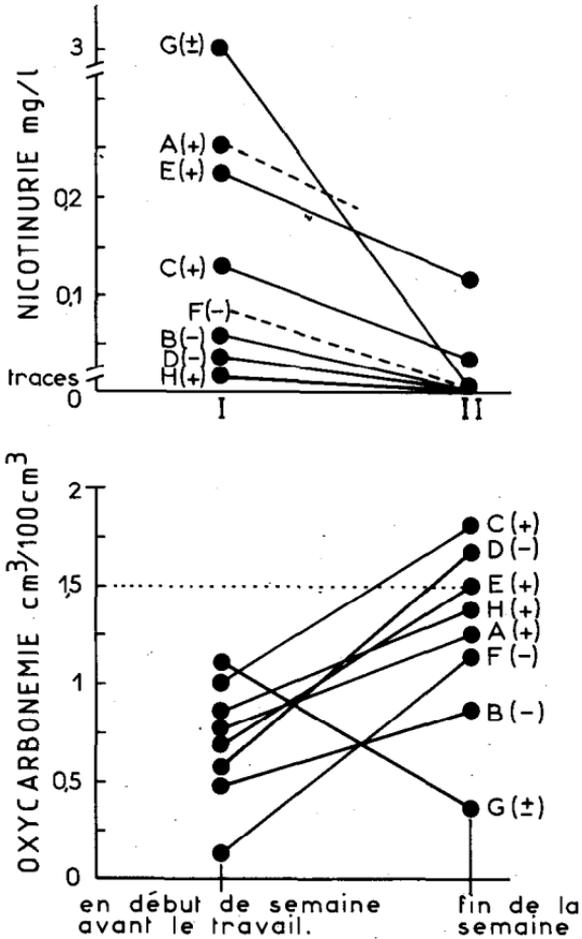
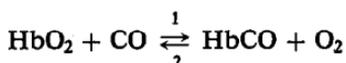


Fig. 7

III. LE MONOXYDE DE CARBONE ET L'ETRE HUMAIN.

Mécanisme de l'intoxication.

L'absorption du monoxyde de carbone se fait au niveau des poumons où il pénètre à chaque inspiration. Comme l'oxygène, il diffuse à travers la membrane alvéolo-capillaire dans le plasma (qui en dissout de 2 à 2,5 cm³ pour 100 cm³ de sang à la pression atmosphérique) puis se fixe sur le fer II de l'hémoglobine pour former la carboxyhémoglobine HbCO. Plus exactement, il déplace l'oxygène de sa combinaison avec l'hémoglobine selon l'équilibre :

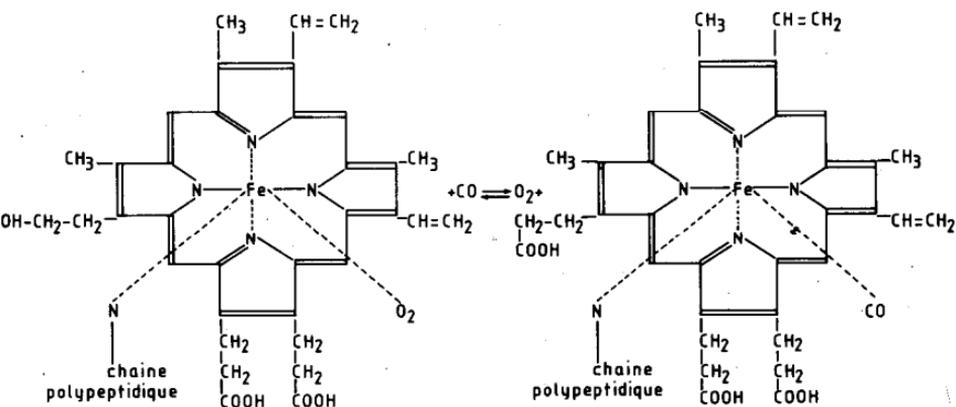


équilibre caractérisé par la constante K.

$$K = \frac{(\text{HbCO}) p_{\text{O}_2}}{(\text{HbO}_2) p_{\text{CO}}} = 250 \text{ à } 37^\circ \text{C chez l'homme}$$

p_{O_2} : pression partielle alvéolaire de l'oxygène,

p_{CO} : pression partielle alvéolaire du monoxyde de carbone.



Un hème de l'hémoglobine.

La molécule d'hémoglobine se compose de 4 hèmes : CO et O₂ se fixent sur le même site, l'échange se fait volume à volume, chaque élément fer de l'hémoglobine fixe une molécule de CO et son affinité plus grande pour CO que pour O₂ est due à une vitesse de dissociation beaucoup plus lente de la carboxyhémoglobine et non à une vitesse de combinaison du CO plus rapide [24].

A l'équilibre avec l'air ambiant (HbCO) dépend essentiellement des concentrations de CO et O₂ dans l'air inhalé comme le laisse prévoir l'application de la loi d'action de masse.

Ainsi l'inhalation d'un volume de CO pour 250 volumes d'oxygène (800 cm³ m⁻³ d'air) transforme en HbCO la moitié de HbO₂.

Le sens 1 de l'équilibre est favorisé par :

— une concentration élevée de CO dans l'air inhalé,

— la réduction de p_{O_2} d'où une plus grande toxicité de CO en haute altitude et les dangers qui en résultent quand on creuse des tunnels en montagne.

Le sens 2 de la réaction est au contraire favorisé par :

— une augmentation de p_{O_2} d'où l'emploi en réanimation du caisson hyperbare qui permet d'accélérer le processus d'élimination.

Quand l'équilibre n'est pas atteint, la fixation de CO sur l'hémoglobine va dépendre :

— de la durée d'exposition,
 — du degré d'activité ; elle est accélérée par une augmentation de la ventilation et du débit cardiaque, le travail manuel en augmentant les besoins en oxygène aggrave les conséquences d'une intoxication par CO tandis que les barbituriques les atténuent en raison de l'hyperventilation alvéolaire qu'ils entraînent.

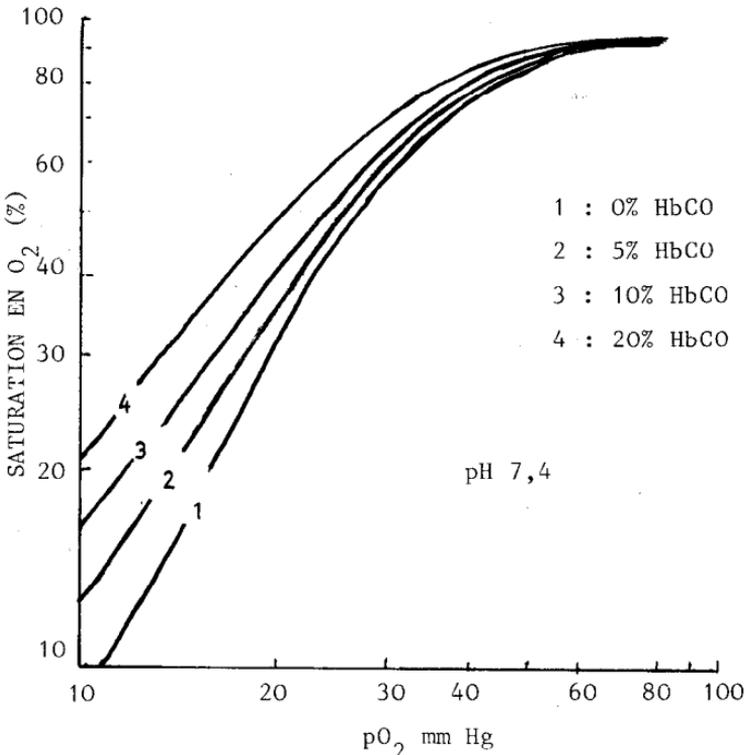


Fig. 8. — Courbes de saturation en oxygène dans le sang pour diverses valeurs du taux de carboxyhémoglobine, d'après l'O.M.S.

L'action toxique de CO sur les cellules est multiple :

- en bloquant une partie de l'hémoglobine, il amoindrit la capacité du sang à transporter l'oxygène,
- au niveau des tissus, il rend plus difficile la libération de l'oxygène de l'oxyhémoglobine restante (fig. 8 [5]).

L'établissement de l'équilibre avec une concentration ambiante de 200 cm^3 de CO m^{-3} d'air entraîne un taux de HbCO de 25 % et abaisse la pression veineuse d'oxygène de 40 à 30 mm de mercure (5,3 à 4 k Pa).

La même hypoxémie est observée quand on s'élève à plus de 3 600 mètres ou chez un sujet anémié.

Le monoxyde de carbone se combine réversiblement avec d'autres substances que l'hémoglobine, sans doute avec d'autres pigments contenant du fer, comme la myoglobine des muscles par exemple. Ainsi chez un sujet présentant un taux de carboxyhémoglobine de 10 %, la myoglobine cardiaque peut être saturée en monoxyde de carbone dans la proportion de 30 % [5]; en dessous d'une certaine pression artérielle d'oxygène (5,3-4 k Pa soit 40-30 mm de mercure) le monoxyde de carbone disparaît du sang vraisemblablement parce qu'il pénètre dans les muscles.

IV. METHODES DE DOSAGES DU MONOXYDE DE CARBONE PRESENT DANS L'ORGANISME.

L'élimination étant rapide, les dosages doivent être effectués dans les 3 heures qui suivent l'intoxication.

Du choix de la méthode analytique utilisée dépend le mode d'expression habituel des résultats.

1. Taux de carboxyhémoglobine (HbCO/Hb total) ou coefficient d'empoisonnement ou d'intoxication du sang.

C'est le rapport de la quantité de CO trouvée dans 100 cm^3 de sang analysé à la quantité de CO que ce même sang peut fixer à saturation.

Sa détermination utilise la spectrographie; les longueurs d'onde des maximums d'absorption sont respectivement :

oxyhémoglobine	5 770 Å	5 430 Å
carboxyhémoglobine	5 700 Å	5 360 Å

On peut ainsi, de la longueur d'onde mesurée par le spectromètre, déduire le degré d'empoisonnement [25].

On peut également mesurer :

- la densité optique du sang prélevé après dilution, ce qui donne la valeur de HbCO,
- celle du même sang saturé d'oxygène ou de CO par barbotage, on obtient ainsi Hb total.

Cette méthode est rapide, nécessite de faibles quantités de sang mais elle est peu sensible surtout pour les basses valeurs.

2. Oxycarbonémie.

Elle est déterminée par dosage de CO extrait du sang après destruction de HbCO et s'exprime en cm³ de CO pour 100 cm³ de sang.

Le monoxyde de carbone libéré par acidification du sang peut être dosé par absorption sélective dans l'infrarouge ou par chromatographie gazeuse sur tamis moléculaire ou par voie chimique.

Dans la méthode Conway, le monoxyde de carbone réduit le chlorure de palladium selon l'équation :



On peut alors : soit titrer l'acide chlorhydrique formé, soit doser le palladium après l'avoir dissout dans l'eau régale ; une addition d'iodure de potassium donne de l'iodure de palladium coloré en rouge et se prêtant à un dosage colorimétrique ou encore, le palladium réduit réagit à chaud sur le réactif phosphomolybdotungstique de Folin et Ciocalteu en donnant une coloration bleue intense également dosable au spectrophotomètre.

Bien que les analystes préfèrent déterminer l'oxycarbonémie en raison de la qualité du dosage terminal, plus fiable, plus sensible, et mieux adapté aux basses valeurs, il faut simultanément doser l'hémoglobine totale du sang, variable selon les individus (10 à 16 g pour 100 cm³ de sang).

Au Laboratoire Central de la Préfecture de Police de Paris [12], on prélève sur E.D.T.A. (*) un centimètre cube de sang que l'on détruit sous vide par action de l'acide phosphorique à chaud dans une ampoule à deux robinets. Les gaz dégagés sont insérés dans le circuit de balayage d'un analyseur infrarouge non dispersif, sensible au monoxyde de carbone et étalonné. La détermination de la teneur en hémoglobine totale du sang est effectuée par colorimétrie après transformation de toutes les hémoglobines présentes en un composé stable : la cyanméthémoglobine par action du réactif de Drabkin, la densité optique est mesurée à 540 nm.

(*) N.D.L.R. : Acide éthylène diamine tétracétique.

Relation entre les deux modes d'expression.

$$\text{HbCO \%} = \frac{\text{CO} \times 100}{1,46 \times \text{Hb}}$$

HbCO % : pourcentage de carboxyhémoglobine par rapport à l'hémoglobine totale,

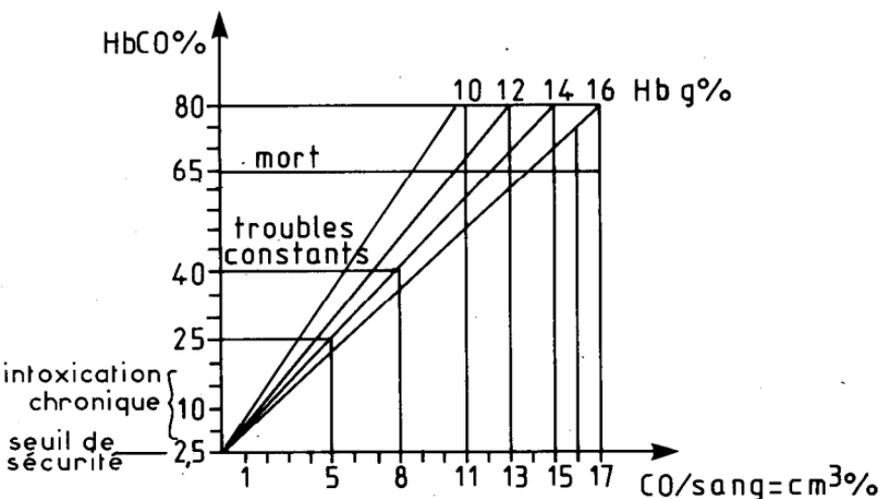
Hb : teneur du sang en hémoglobine exprimée en grammes d'hémoglobine pour 100 cm³ de sang,

CO : teneur du sang en cm³ de monoxyde de carbone pour 100 cm³ de sang à 25 °C et 760 mm de mercure.

La valeur 1,46 s'explique par la fixation par 1 mole d'hémoglobine (masse molaire 66 700) de 4 moles de CO soit pour 1 g d'hémoglobine :

$$4 \times \frac{22\,400 \times 298}{66\,700 \times 273} = 1,46 \text{ cm}^3 \text{ de CO}$$

à 0 °C on obtient la valeur 1,34 souvent rencontrée dans la littérature.



Relation entre le pourcentage de HbCO et la quantité de CO dans le sang en cm³ % en fonction de la teneur du sang en hémoglobine (d'après Zorn).

Fig. 9 [17].

V. RESULTATS ET SYMPTOMES D'INTOXICATION.

La décomposition normale des pigments du sang dans l'organisme est une source de monoxyde de carbone et explique un taux

normal de CO endogène du sang qui descend rarement en dessous de $0,15 \text{ cm}^3$ même pour un campagnard non fumeur. Dans l'atmosphère d'une capsule spatiale où l'on avait enfermé 4 volontaires pendant 14 jours, les chimistes américains ont trouvé un taux de CO de $19 \text{ cm}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ d'air, or les physiologistes estiment à $15 \text{ cm}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ d'air la concentration limite admissible pour un cosmonaute dont les facultés psychiques ne doivent pas être entravées par une action éventuelle nocive [26].

Cette oxycarbonémie endogène est d'ailleurs très variable et peut augmenter lors de certaines maladies.

Il est difficile d'établir une corrélation précise entre les symptômes observés et les concentrations de CO auxquelles un individu est exposé.

1. La fig. 10 établie à partir des résultats d'HENDERSON et HAGGARD [27] donne un aperçu des risques encourus.

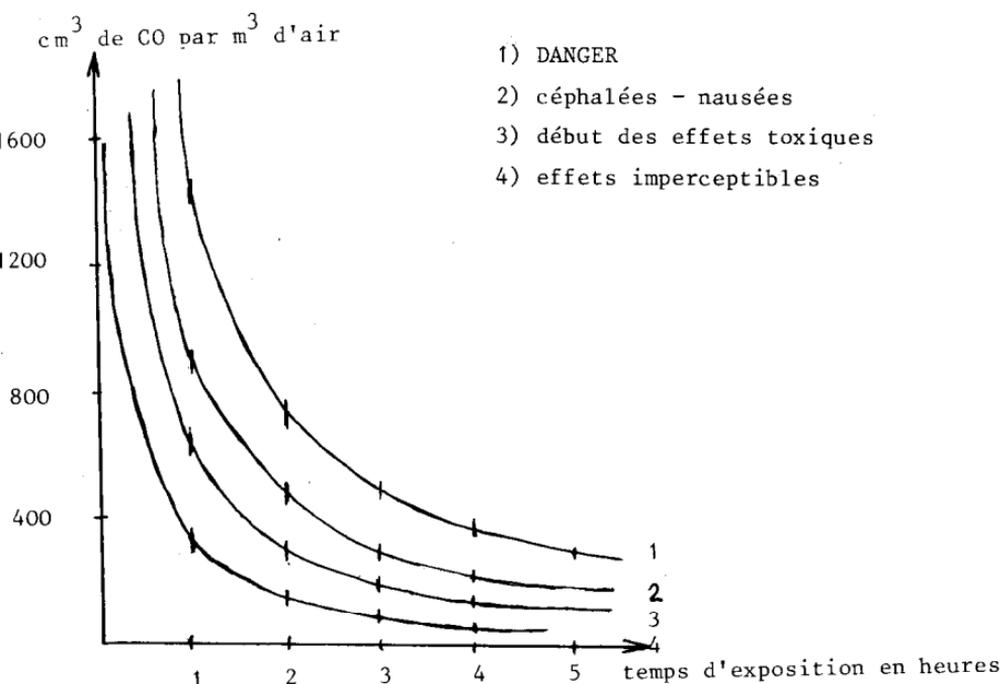


Fig. 10

C : concentration de CO dans l'air en $\text{cm}^3 \cdot \text{m}^{-3}$,

t : temps en heures d'exposition,

- $C \times t = 300$: pas de symptômes,
 $= 600$: début des effets toxiques,
 $= 900$: maux de tête, nausées,
 $= 1500$: danger.

Ces relations ne faisant intervenir que 2 facteurs sont très approximatives. En fait, les troubles observés sont essentiellement liés au taux de carboxyhémoglobine.

2. Une étude expérimentale précise a été réalisée par PETERSON et STEWART [28] pour déterminer le taux de carboxyhémoglobine en fonction du temps d'exposition (fig. 11). Des ana-

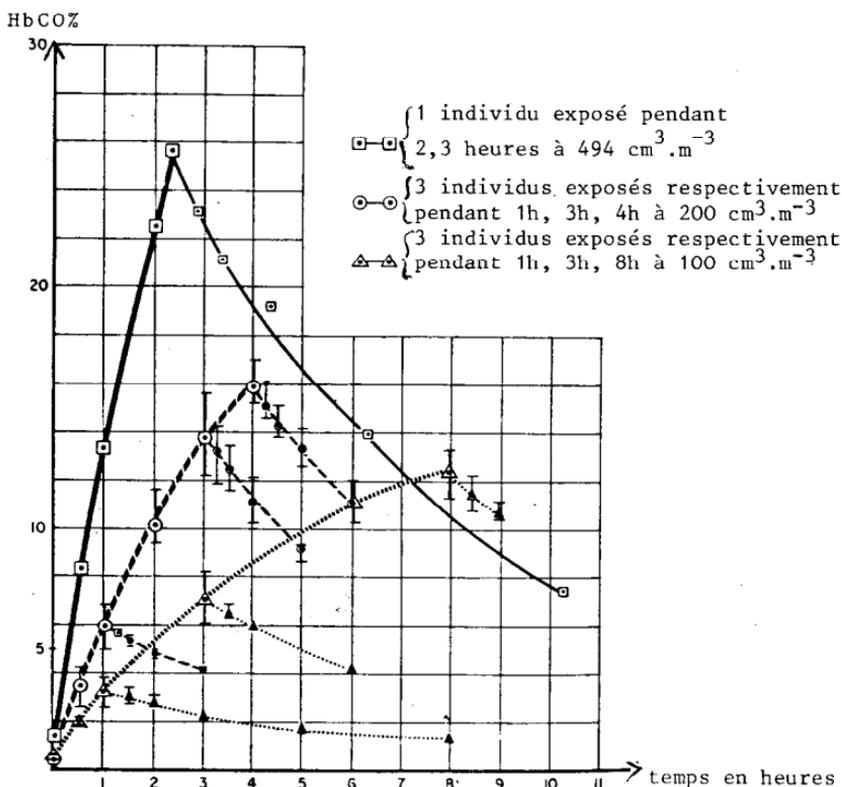


Fig. 11. — Taux de carboxyhémoglobine en fonction du temps d'exposition.

lyses ont également été faites à des temps réguliers après arrêt de l'inhalation de CO, mais ce travail a été réalisé sur des individus au repos.

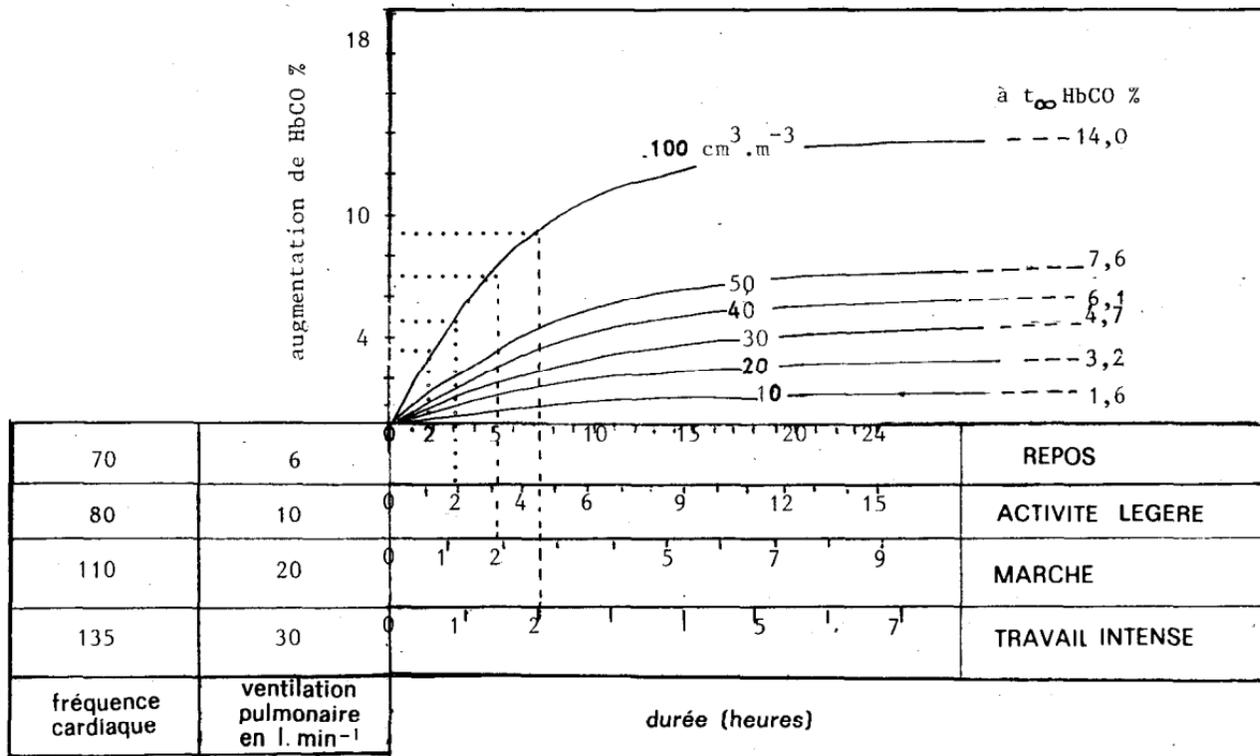


Fig. 12. — Fixation du monoxyde de carbone dans le sang. Les courbes ci-dessus sont des courbes dose-réponse type établies empiriquement. Le taux effectif de carboxyhémoglobine chez un sujet donné peut différer considérablement du chiffre prévu, selon les conditions au moment de l'exposition (référence O.M.S.).

3. Or l'activité de l'individu joue un rôle important comme le montre la fig. 12. Ainsi un individu au repos exposé pendant 2 heures à une concentration de $100 \text{ cm}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ de CO dans l'air inhalé subira-t-il une augmentation de HbCO de 3,5 % tandis qu'elle sera de 5 % s'il a une activité légère, 7 % s'il marche et atteindrait 9 % s'il effectuait un travail intense d'où la nécessité de faire intervenir un coefficient K qui dépend de l'activité de la personne. L'équation de CHOVIN et RICHALET est assez représentative :

$$(\text{HbCO}) \% = 0,1465 C_{\text{CO}} (1 - e^{-Kt/0,1465}).$$

Degré d'activité physique	Ventilation pulmonaire l. min^{-1}	K
Repos	6	0,018
Légère activité	9	0,030
Activité moyenne	18	0,048
Activité intense	30	0,066

Pour des expositions de courte durée (inférieure à une heure), les courbes peuvent être assimilées à leurs tangentes à l'origine, et le taux de carboxyhémoglobine devient fonction linéaire du temps.

$$\text{Hb CO}\% = K C_{\text{CO}} \cdot t.$$

Une bonne corrélation existe entre le pourcentage de carboxyhémoglobine et la sévérité des symptômes :

- de 4 à 5 % maux de tête, modification de l'électrocardiogramme d'effort,
- de 5 à 10 % diminution de la perception visuelle et de l'habileté manuelle,
- 20 % dyspnée lors d'un effort modéré parfois céphalée et réduction de l'acuité mentale,
- 30 % troubles visuels, irritabilité, fatigue, troubles du jugement, céphalée,
- 40 à 50 % confusion, nausée, vomissement, perte de conscience au moindre effort,
- 60 à 70 % coma, convulsion, mort si l'exposition est prolongée,
- > 70 % mort immédiate.

Tout ceci peut être résumé dans le tableau 6 [21].

Tableau 6 :

*Corrélation
entre la teneur volumétrique en monoxyde de carbone
et les symptômes*

Teneur volumétrique en CO de l'air respiré en $\text{cm}^3 \cdot \text{m}^{-3}$	Durée du séjour		Coefficient d'intoxi- du sang	Effets produits
	au repos	en période de travail		
100	continue		0,095	Anémie.
200	6 h	1 h 30	0,17	Raideur frontale, léger mal de tête, vasodilatation cutanée.
330	4 h	1 h	0,17	Raideur frontale, léger mal de tête, vasodilatation cutanée.
400	4 h	1 h	0,29	Mal de tête, battements temporaux.
500	4 h	1 h	0,34	Mal de tête, vertiges, vision défectueuse, nausées, vomissements, ténacité au collapsus.
1 000	2 h	1 h	0,52	Idem, mais possibilité d'une syncope, accélération de la respiration et du pouls.
1 500	4 h à 5 h		0,50 à 0,70	Mort.
2 000	2 h à 3 h		0,50 à 0,70	Mort.
3 000	1 h à 2 h		0,50 à 0,70	Mort.
5 000	1 h		0,50 à 0,70	Mort.
10 000	1/2 h		0,50 à 0,70	Mort.

Une concentration de 2,5 % de carboxyhémoglobine correspond pour un adulte en bonne santé et non fumeur à une exposition à $50 \text{ cm}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ d'air pendant 90 minutes, elle atteint 8 % après 5 heures d'exposition ; c'est la valeur limite. En 1979, l'organisation mondiale de la santé retient ce taux de 2,5 à 3 % comme seuil critique pour la protection de la population dans son ensemble.

Directives applicables aux conditions d'exposition pour empêcher que le taux de carboxyhémoglobine dépasse 5 % dans des groupes professionnels de non-fumeurs effectuant un travail physique léger ou intense (O.M.S.) [5].

Concentration		Durée d'exposition à ne pas dépasser		Concentration qui aboutirait à une valeur de 5 % pour HbCO		Coefficient de sécurité	
cm ³ . m ⁻³		travail léger	travail intense	travail léger	travail intense	travail léger	travail intense
200	230	15 min	—	298	—	1,5	—
100	115	30 min	15 min	157	193	1,6	1,9
75	86	60 min	30 min	87	105	1,2	1,4
50	55	90 min	60 min	64	62	1,3	1,2
35	40	4 h	2 h	37	41	1,1	1,2
25	29	8 h	8 h	31	30	1,2	1,2

Symptômes de l'intoxication oxycarbonée.

Ils peuvent souvent être confondus avec ceux d'une *intoxication alimentaire*, la différence essentielle réside dans *les vomissements sans diarrhée*.

Sur 90 intoxiqués hospitalisés (13) en urgence, 83 % présentaient l'un des 3 symptômes suivants :

- céphalée,
- vomissements,
- asthénie prédominant dans un membre inférieur,

il y avait : 2 de ces symptômes dans 63 % des cas

3 de ces symptômes dans 45 % des cas

puis s'ajoutent des troubles du comportement : confusion mentale et altération de la conscience aboutissant au coma, on remarque alors des *signes cutanés* tels des placards érythémateux, la couleur rouge vif du visage (cochenille), des *troubles respiratoires* (râle diffus) et *cardiovasculaires* qui peuvent entraîner un œdème aigu du poumon ou collapsus.

De plus, il y a une anoxémie qui cause des lésions graves des tissus nerveux et provoque une polyglobulie.

Remarque.

La sensibilité au monoxyde de carbone sera d'autant plus grande que les sujets souffrent déjà d'un déficit en oxygène (anémie) ou en ont un besoin accru (hyperthyroïdie).

Si l'exposition est massive, la victime tombera rapidement dans le coma sans présenter de signes préalables.

Séquelles d'intoxication aiguë.

En cas d'anoxémie prolongée, les séquelles les plus fréquemment rapportées sont :

- atteinte cardiaque : troubles électrocardiographiques, infarctus,
- atteinte du système nerveux :
 - syndromes parkinsonien,
 - surdité,
 - réduction des capacités intellectuelles,
 - démence.

Mesures thérapeutiques.

— Soustraction à l'atmosphère toxique en se méfiant du risque d'explosion.

— Aération de la pièce.

— Oxygénation au masque avant transport dans un centre spécialisé où sera pratiquée une oxygénation hyperbare (2 atmosphères si le taux de CO est supérieur à 5 cm³/100 cm³ de sang).

La réaction de CO avec Hb est réversible mais très lente, quand la victime respire de l'air, la concentration sanguine en HbCO diminue de moitié toutes les 250 minutes et seulement toutes les 40 minutes quand on a remplacé l'air atmosphérique par de l'oxygène.

La diminution de l'imprégnation oxycarbonée d'un sujet placé au temps $t = 0$ dans l'air pur exempt de monoxyde de carbone peut être représenté par la fonction suivante:

$$(\text{HbCO } \%)_t = (\text{HbCO } \%)_o e^{-K \cdot t/0,1465}$$

$(\text{HbCO } \%)_t$: taux de carboxyhémoglobine dans le sang à l'instant t (t en heures),

$(\text{HbCO } \%)_o$: taux de carboxyhémoglobine dans le sang à l'instant $t = 0$,

K : coefficient de ventilation du sujet :

0,017 pour un sujet endormi,

0,025 pour un sujet au repos,

ainsi, un individu au repos perd-il la moitié de son monoxyde de carbone en 4 heures alors qu'endormi, il lui faut 6 heures pour arriver au même résultat [12].

Intoxication chronique.

Elle est définie par la persistance d'un taux d'hémoglobine transformée en carboxyhémoglobine compris entre 5 et 15 % ;

c'est le taux habituellement rencontré chez les fumeurs et la cause principale en est le tabagisme.

La concentration du monoxyde de carbone dans l'écoulement principal de la fumée de cigarettes, est de l'ordre de 4 % [29] et M. CHIRON pense qu'une cigarette fait ainsi absorber 12 cm³ de monoxyde de carbone.

On a estimé que le fumeur de cigarettes est exposé à une concentration de 400 à 500 cm³.m⁻³ pendant les 6 minutes qu'il faut à peu près pour fumer une cigarette [5].

LANDAW (1973) a noté qu'il fallait 291 minutes à un fumeur pour éliminer la moitié du monoxyde de carbone qu'il avait fixé.

La fig. 13. représente les variations du taux de carboxy-hémoglobine caractéristiques d'un gros fumeur de cigarettes [5].

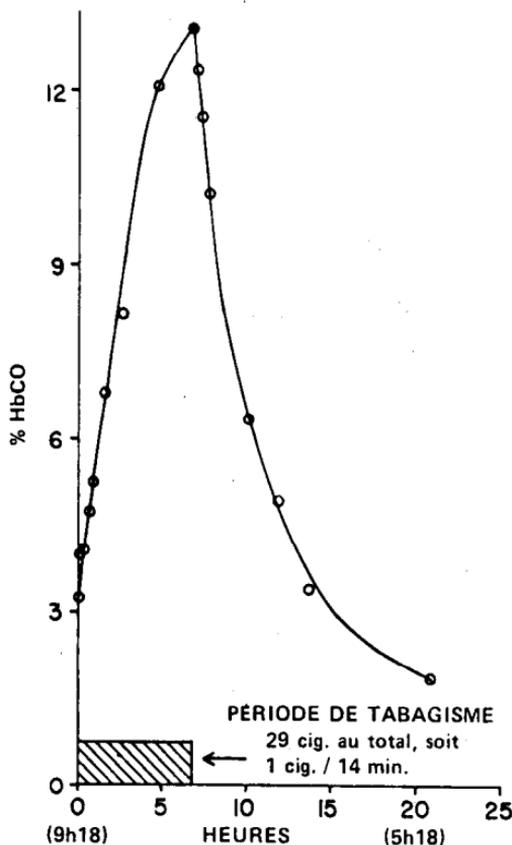


Fig. 13. — Allure des variations du taux de carboxyhémoglobine chez un fumeur de cigarette type (d'après Horvath).

Au moment où il recommence à fumer (le lendemain), le taux de HbCO est encore 1,7 %.

En général, les fumeurs de cigarettes excrètent dans l'air plus de CO qu'ils n'en absorbent.

Tableau 7 :

*Taux de carboxyhémoglobine (%)
chez des fumeurs et des non-fumeurs [5]*

Description	Non fumeurs		Fumeurs	
	Moyenne	Limites	Moyenne	Limites
Femmes enceintes (Royaume-Uni)	1,1		3,6	
Porteurs de viande	1,6		5,1	
Employés de bureau	1,3		6,2	
Employés de bureau londoniens	1,12	0,1—2,7	5,5	2,2—13,0
29 000 donneurs de sang (Etats-Unis d'Amérique)	1,39	0,4—6,9	5,57	0,8—11,9
3311 débardeurs californiens	1,3		5,9	
Population de Munich	2,36		7,38	
Bavarois ruraux	1,03		6,06	

Effets d'une faible oxycarbonémie

a) SUR LE CŒUR [15].

A l'issue d'une récente enquête épidémiologique, GOLDSMITH et ARROW (1975) arrivent aux conclusions suivantes :

- une exposition à $100 \text{ cm}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ de CO pendant 4 heures provoque des perturbations de l'électrocardiogramme chez le sujet sain,
- CO aggrave l'angine de poitrine, l'action apparaît après une exposition à $50 \text{ cm}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ pendant 90 minutes,
- CO diminue la survie des patients atteints d'un infarctus du myocarde ; l'agressivité de CO envers le système cardiovasculaire se manifeste pour des faibles imprégnations correspondant à $|\text{HbCO}| = 5$ à 10 %. Le tabagisme à la cigarette constitue l'une des causes essentielles des cardiopathies coronariennes [5].

b) SUR LE SYSTÈME NERVEUX CENTRAL.

On a cité :

- l'abaissement du seuil de la perception visuelle pour des taux de carboxyhémoglobine compris entre 2 et 5 % (Mac FARLAND et coll. - 1944),
- une diminution des performances réalisées au cours de tests psychophysiologiques pour des taux de carboxyhémoglobine de 5 % (SCHULTE - 1963),

- une réduction d'origine encéphalique de l'aptitude à évaluer la durée des stimuli auditifs, à partir d'un taux de carboxyhémoglobine de 2 % (BEARD et WERTHEIM - 1967),
- une atténuation de la vigilance, après l'exposition à $50 \text{ cm}^3. \text{m}^{-3}$ de monoxyde de carbone (FODOR et WINNEKE - 1972). Ce qui peut être un handicap très sérieux pour les conducteurs de véhicules.

L'intoxication chronique au monoxyde de carbone est indemnisée en médecine du travail, elle est prise en considération pour des teneurs supérieures à $50 \text{ cm}^3. \text{m}^{-3}$: taux largement atteint sous les tunnels routiers où travaille un personnel d'entretien.

Les symptômes classiques sont :

- les céphalées,
- l'asthénie physique et psychique,
- les vertiges et nausées ;

plus rarement des troubles de la mémoire de fixation, de la personnalité (irritabilité, troubles de la conscience, « absence » de courte durée, tachycardie et palpitations).

Parmi les effets à long terme, on peut craindre des anémies, observer des hémorragies, des gingivites.

VI. EFFETS DE CO SUR LES ANIMAUX [30].

Ils sont inégalement sensibles au monoxyde de carbone.

Les canaris, les souris blanches sont plus sensibles que l'homme à cause de la plus grande rapidité de leur rythme cardiaque, la concentration mortelle est la même, mais elle est atteinte vingt fois plus vite. C'est pourquoi on utilise souvent ces animaux pour être prévenu de la présence de CO dans les mines de houille au voisinage d'un incendie ou lorsqu'on procède à un sauvetage après un coup de grisou. Les souris valseuses japonaises cessent tout mouvement après 5 à 10 minutes de séjour dans une atmosphère contenant $1\ 000$ à $1\ 200 \text{ cm}^3. \text{m}^{-3}$ de monoxyde de carbone alors que les canaris ne meurent qu'au bout de 75 à 110 minutes.

Les grenouilles et les poissons résistent beaucoup mieux que les mammifères, le coefficient d'empoisonnement étant de 0,9 (au lieu de 0,66) ; CO n'a aucune action sur les animaux dépourvus d'hémoglobine (écrevisses par exemple).

CONCLUSION.

Le monoxyde de carbone, gaz incolore - inodore est extrêmement toxique ; responsable de nombreux décès, il se forme surtout

lorsque la quantité d'air est insuffisante pour assurer une combustion complète ; il est donc essentiel de veiller au bon entretien des appareils de chauffage et de production d'eau chaude, d'assurer l'évacuation des gaz de combustion et d'éviter de calfeutrer portes et fenêtres des locaux où ils sont installés. A ce sujet, la politique actuelle d'économie d'énergie fait courir des risques considérables aux usagers de ces appareils.

Il semble important de préciser que les particuliers habitant la région parisienne ont toujours la possibilité de faire vérifier *gratuitement* le bon fonctionnement de leur appareil de chauffage ou de leur chauffe-eau par le Laboratoire Central de la Préfecture de Police.

Même en l'absence d'appareils émettant des produits nocifs, la pollution étant liée à la seule présence humaine, une atmosphère confinée est capable de provoquer des troubles, surtout s'il y a présence de fumeurs ; le tabagisme pouvant entraîner une véritable intoxication chronique.

Une ventilation est donc indispensable dans les lieux habités.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] LASSONE. — Mem. Acad. Paris, 1776.
- [2] CLÉMENT et DésORMES. — Ann. Chim. Phys. 38, p. 285, 1801.
- [3] N. DOTREPPE-GRISARD. — *La pollution de l'air*. Paris Eyrolles, Liège Edition Ceredoc, 1972.
- [4] J. SERRE. — *Problèmes de la pollution de l'air et de l'eau*. Préparation à l'agrégation. E.N.S.J.F., 1977-1978.
- [5] *Critères d'hygiène de l'environnement*. Document publié en 1981 par l'Organisation Mondiale de la Santé.
- [6] P. CHOVIN et A. ROUSSEL. — *La pollution atmosphérique*. « Que sais-je ? » Masson, Paris, 1973.
- [7] C. CABAL. — *Aspects actuels de l'intoxication par l'oxyde de carbone*. Thèse Lille 1971.
- [8] L. TRUFFERT, M. FAVART et M. GAREIN. — *Etude de la pollution atmosphérique de la région parisienne par les établissements industriels et les véhicules automobiles depuis 1959*. Ann. Fals. Exp. Chim., 70 (n° 755-756), p. 419, 1977.
- [9] M. FAVART, B. MAURON, J. VAREILLE et Y. LEGALL. — *Etude de pollution atmosphérique à Paris et dans les départements périphériques en 1979*. Juillet 1980, p. 16-35. Laboratoire Central de la Préfecture de Police.
- [10] I.N.R.S. Paris Note n° 1368-106-82 CDU 613-63 cahier de notes documentaires n° 106. Premier trimestre 1982.
- [11] C. BOUDÈNE, H. LAFFONT et F. ARSAC. — *Archives des maladies professionnelles* 35 (n° 10-11), 1974.
- [12] J.-L. GERONIMI et B. MAURON. — *Etude de pollution atmosphérique à Paris et dans les départements périphériques en 1981*. Laboratoire Central de la Préfecture de Police.
- [13] B. BLETTYERY. — *Concours médical* 17-10. 103-37, p. 5803, 1981.
- [14] L. BARRET, Ph. ARSAC et J. FAURE. — *The Lancet* II 8253, p. 996. 1981.
- [15] J.-W. BINDER et R.-S. ROBERTS. — *Carbon monoxide Intoxication in Children Clinical Toxicology*, 16, p. 287. 1980.
- [16] C. DELAUNAY et P. LECHANTEUR. — *Pollution à l'intérieur des locaux*. Laboratoire Central de la Préfecture de Police. 1981.
- [17] J. LAVAUD et J.-L. GERONIMI. — *Tempo médical*, avril 1982.

- [18] J. NAGELS. — Thèse de Docteur en Pharmacie : *Etude des risques d'intoxication oxycarbonée liés à l'utilisation des chauffe-eau à gaz non raccordés à un conduit d'évacuation des produits de combustion*. Nantes 10-1-1978.
- [19] Nouvelle Presse médicale 18 avril 1981, 10, n° 7.
- [20] J.-P. DETRIE. — *La pollution atmosphérique*. Nuisances Dunod, Paris, 1969.
- [21] Ph. RIBARD. — Thèse Université Cl.-Bernard : *Intoxication accidentelle domestique par CO. Etude statistique sur 277 intoxications*. Lyon, 2-12-1974.
- [22] G. BOUTEILLER, C. BOUCHON, J. MANDRETTE, M. MONNET DE LORBEAU, M. PUJOL. — *Arch. mal Prof.*, 41, p. 79-83, 1980.
- [23] J.-M. RAMSEY. — *Arch. Environ. Health*, 15, p. 580-83, 1964.
- [24] M. GOULON et Coll. — *La revue du Praticien*, p. 2300, 1^{er} mai 1971.
- [25] *Traité de biologie appliquée VII*. Librairie Malone S.A. Paris, 1969.
- [26] STUFFEL. — *La Presse médicale*, 78, p. 2065-68, 1970.
- [27] HENDERSON et H. HAGGARD. — *Am. Chem. Soc. Monograph* n° 35, 2^e édit. Reinhold New York, p. 168, 1943.
- [28] J.-E. PETERSON et R.-D. STEWART, E.-D. BARETTA, R.-T. BACHAND, M.-J. HOSKO, A. HERRMANN. — *Experimental Human exposure to carbon Monoxyde*. *Arch. Environ Health*, 21, p. 154, 1970.
- [29] M. FRANTZ-CHIRON. — Thèse Université Cl.-Bernard : *Importance du monoxyde de carbone comme polluant atmosphérique. Influence de la cigarette sur la teneur du CO de l'air inspiré. Etude de la fixation du monoxyde de carbone sur l'hémoglobine d'un échantillon de population de la ville de Lyon*. Lyon, 3-3-1982.
- [30] P. PASCAL. — Nouveau traité de chimie minérale : *Le carbone*, par J. AMIEL, T. VIII, Masson, Paris, 1968.
-