

- [17] *Bleuler Manfred*, Prof. Dr. med.: Direktor der Kantonalen Nervenheilstalt Burghölzli. «Psychische Hygiene und Schularzt». Referat in «Gesundheit und Wohlfahrt», Schweiz. Z. Hygiene 10, S. 412 (1947).
- [18] *Prader A.*: Universitätskinderklinik Zürich, Antritts-Vorlesung, Schweiz. Med. Wsch. 7, S. 167 (1959). «Das Wachstum des Menschen in ärztlicher Sicht».
- [19] *Pestalozzi Heinrich*: «Eine Selbstschau», S. 48/49, Gute Schriften Zürich (1946).

Clinica del Lavoro «L. Devoto» dell'Università di Milano
 Direttore: Prof. *Enrico C. Vigliani*

Pollutions atmosphériques causées par les effluents liquides et gazeux des raffineries de pétrole

Par *N. Zurlo*¹

Ces dernières années, l'industrie du pétrole s'est développée d'une manière vraiment imposante. De 1940 à aujourd'hui, la production mondiale de pétrole brut a plus que quadruplé, passant de 280 à 1240 millions de tonnes. Dans une mesure encore plus grande, en raison du continuel progrès de la technique des moteurs, la demande en essence et autres propellants appréciés a augmenté. La situation du marché a poussé les raffineries non seulement à accroître la production, mais aussi à améliorer la qualité des produits, en perfectionnant toujours plus les procédés de travail et en adoptant, sur une large échelle, les processus thermo-catalytiques, avec lesquels on peut obtenir des rendements élevés en produits de valeur et exploiter tous les produits bruts disponibles, y compris ceux moins appréciés, qui sont pauvres en essence et riches en soufre.

Avec l'augmentation de la production, avec l'exploitation des produits bruts riches en soufre et avec les nouvelles techniques thermo-catalytiques, les produits de rebut liquides et gazeux des raffineries ont notablement augmenté et il y a eu de nombreuses pollutions, dues à des substances malodorantes et irritantes, qui ont rendu nécessaire l'adoption de mesures appropriées pour éviter la répétition de ces épisodes désagréables, dont quelques-uns se sont produits également en Italie.

Raffinage du pétrole

Avant de considérer les pollutions qui peuvent être causées par le raffinage du pétrole, rappelons brièvement les opérations essentielles du raffinage. Le pétrole brut est un mélange complexe de milliers d'hydrocarbures et autres composés organiques. La valeur commerciale de ces composés est étroitement liée à leur temps de distillation et décroît si le poids moléculaire et le point d'ébullition augmentent. La fraction la plus appréciée est celle qui distille au-dessous de 200°C, c'est-à-dire l'essence; suivent, par ordre décroissant de

¹ Conférence donnée le 22 décembre 1960 devant la Société vaudoise de médecine et le Groupement romand d'hygiène industrielle et de médecine du travail.

graduellement; tout d'abord la gazoline se sépare (intervalle de distillation: 280°–380°C), ensuite c'est le pétrole (intervalle de distillation: 200°C–280°C) et enfin la fraction qui distille en dessous de 200°C: l'essence et un petit pourcentage de gaz (la séparation des couches de gaz est toujours favorisée par la vapeur). Le rendement du topping est de 96 à 97% quant au pétrole brut. La perte est représentée presque exclusivement par du combustible brûlé pour le fonctionnement des installations, le chauffage du brut, la production de vapeur, etc.

Pour économiser le combustible, le pétrole brut est chauffé tout d'abord dans des échangeurs de chaleur au contact des gaz chauds de la colonne de distillation.

Le rendement en essence est en général modeste (tabl. I), il varie entre 10 et 25% du brut, le rendement en huiles combustibles varie entre 40 et 60% (quelques pétroles bruts donnent moins de 5% d'essence et environ 90% d'huiles combustibles).

| Pétrole brut | Essence légère (p.f.e.b. 150°C) % | Essence lourde (150–200°C) % | Pétrole (200–260°C) % | Fuel-oil (260–360°C) % | Huile combustible résiduelle % |
|----------------------|---|------------------------------------|-----------------------------|------------------------------|--------------------------------------|
| Kuwait | 15 | 5 | 5 | 13 | 60 |
| Ras Tanura | 15 | 7 | 10 | 21 | 47 |
| Tia Juana | 12 | — | 8 | 14 | 64 |
| Lagumillas | 7 | — | 5 | 18 | 68 |
| Bachaquero | 4 | — | — | 7 | 87 |

Tableau I: Le rendement de différents pétroles bruts.

Cracking

Pour obtenir une plus grande quantité d'essence, les huiles combustibles et la gazoline peuvent être soumises au cracking, qui consiste à porter les huiles à des températures élevées (plus de 450°C), de manière à provoquer la rupture des grosses molécules des huiles et obtenir ainsi des hydrocarbures plus simples. Le cracking peut être thermique ou thermo-catalytique. Le cracking thermique est actuellement pratiquement abandonné.

Sur la fig. 2 est reporté le schéma d'une installation catalytique à couche fluide. L'installation est formée de réacteurs et de régénérateurs du catalyseur; le catalyseur est constitué par de petites boules de silico-alumine de quelques millimètres de diamètre. Les produits à réformer et le catalyseur entrent au fond du réacteur, les produits du cracking sortent par le haut à l'état de vapeur en passant à travers des cyclones qui récupèrent le catalyseur éventuellement entraîné et vont vers une colonne de condensation du type de celle du topping. Le catalyseur se couvre de substances carbonées qui en réduisent l'activité quand il est épuisé; il est soumis à un jet de vapeur pour extirper les gaz qui y adhèrent encore et descend au fond du réacteur où il est acheminé avec de

l'air comprimé vers le four de régénération. La régénération s'obtient en brûlant des dépôts carbonés, les gaz de combustion sortent par le haut, préalablement purifiés dans des cyclones; le catalyseur régénéré sort par le bas et revient dans le cycle.

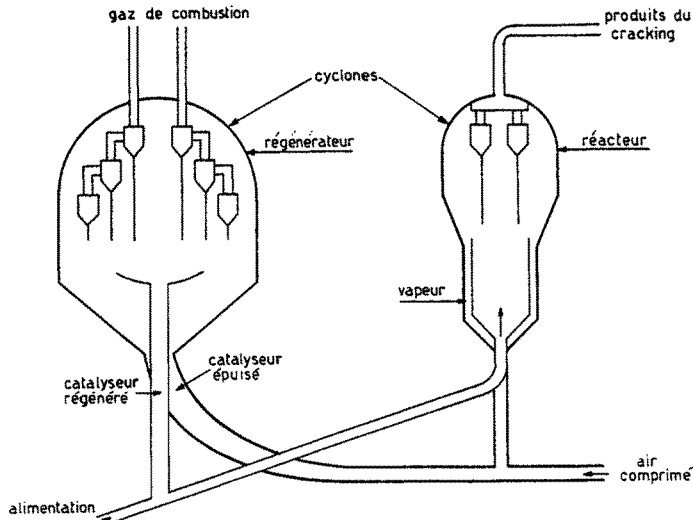


Fig. 2: Installation catalytique à couche fluide.

Une particule du catalyseur effectue le cycle complet en dix minutes environ et le processus peut marcher continuellement pendant des mois. Une grosse unité de cracking catalytique peut traiter plus de deux millions de tonnes par an. La circulation du catalyseur dans une installation de ce genre est de cinquante tonnes à la minute. La récupération du catalyseur est pratiquement complète; seulement 0,005% des 72 000 tonnes qui ont circulé en un jour est perdu dans l'atmosphère. Dans le cracking, outre l'essence, il se forme aussi d'importantes quantités de gaz en grande partie condensables (gaz liquides). Le rendement total (gaz condensables + essence + gazoline et huile combustible) varie selon l'énergie des pyroscissions, il est en général de 90%. La perte est représentée par le combustible nécessaire au fonctionnement de l'installation, besoins presque complètement couverts par les gaz incondensables obtenus par la réaction et par les substances carbonées déposées sur les catalyseurs.

La perte de raffinage qui, dans ce cas, est de 10% environ, est particulièrement intéressante du point de vue de la pollution; la perte de travail est due aux déchets que la raffinerie émet avec les effluents liquides ou avec les cheminées.

Dans l'ensemble, la perte de travail, avec le cracking, est environ quatre fois plus élevée qu'avec le topping; la différence fondamentale entre le topping et le cracking est que dans le topping les constituants du pétrole brut ne subissent pas de transformations, mais sont seulement subdivisés. Dans le cracking, les molécules lourdes sont brisées en deux ou plusieurs molécules de poids

inférieur: ce sont ces transformations qui donnent lieu à la formation des déchets.

Une partie des essences et spécialement les essences descendantes peuvent être soumises à des traitements thermocatalytiques ultérieurs, du type du cracking, mais beaucoup plus faibles: reforming, poliforming, hydroforming, etc.

Pendant ces traitements, il survient des phénomènes de transposition et de reconstruction moléculaire avec obtention d'hydrocarbures au plus haut indice d'octane. En même temps il y a des pertes par formation de gaz. La forte demande d'essences appréciées a rendu intéressants ces processus malgré les pertes.

Dans les grandes raffineries modernes, ces gaz sont récupérés et transformés en essences à caractéristiques antidétonantes extrêmement élevées, par des processus d'alchilation, de polymérisation, de condensation, etc. Au cours du poliforming, de l'hydroforming, etc., les essences sont mélangées avec le gaz de cracking ou de reforming, afin d'obtenir des produits de plus grand prix et de retransformer en essence une partie des gaz. La régénération des catalyseurs est beaucoup plus simple que celle nécessitée pour le cracking; dans certains cas, seul le stripping avec de la vapeur à 200°C (13 atm.) est suffisant. Dans les processus thermo-catalytiques on obtient des essences presque complètement exemptes de soufre: celui-ci passe dans les gaz sous forme de H₂S.

Epuration

La phase finale du raffinage est l'épuration à laquelle sont soumis plus spécialement les produits légers: essences, gaz liquides et incondensables. Les impuretés à éliminer sont formées de substances instables facilement oxydables, d'odeur nauséabonde: matières asphaltées et résineuses, composés azotés, composés sulfureux, etc. L'épuration des essences est obtenue de plusieurs manières: traitement par H₂SO₄ (acide sulfurique), par une solution de chlorure d'aluminium, de chlorure de zinc, par absorption sur des terres actives, etc.

Ces traitements donnent des acides fangeux nauséabonds difficiles à écouler. Pour la désulfurisation des essences, les procédés catalytiques sont toujours plus utilisés; grâce à eux les composés organiques sulfureux sont transformés en H₂S; l'H₂S est enlevé en lavant les essences avec du NaOH; cette solution est régénérée en ôtant l'H₂S avec stripping à température élevée.

La purification des gaz consiste essentiellement à enlever l'H₂S et les mercaptans légers; cette purification s'obtient par lavage à froid avec l'éthanolamine; celle-ci est ensuite réchauffée pour enlever l'H₂S qui est dirigé vers la combustion.

Après avoir sommairement examiné les travaux des raffineries, regardons maintenant quels sont les résidus liquides ou gazeux.

Le pétrole brut, les intermédiaires, partie des produits finis et spécialement les résidus de la purification des fractions légères sont riches de substances

toxiques et nauséabondes: H_2S , dérivés organiques du soufre, aldéhydes, phénols, composés azotés, etc.

Une bonne partie de ces composés aboutit dans les matières de rebut qui doivent être purifiées. Considérons avant tout les effluents liquides et nous verrons ensuite les effluents gazeux.

Eaux de décharge

Au cours de diverses phases du travail, de grandes quantités d'eau sont au contact des pétroles, surtout dans les distillations où le fractionnement est facilité par l'émission de vapeur (stripping); la vapeur sert aussi à l'épuisement des fractions lourdes, pour enlever l'huile qui adhère aux catalyseurs, etc. Les eaux de condensation, ainsi que les solutions utilisées pour les purifications ou de toute façon en contact avec les pétroles, sont polluées par des substances toxiques et spécialement par des substances organiques nauséabondes. Ces eaux peuvent polluer avec leurs produits fétides l'atmosphère le long du cours d'eau dans lequel elles sont déversées et ainsi provoquer la mort des poissons. Ceux-ci sont particulièrement sensibles aux acides libres, aux phénols, au chlore, aux sels de cuivre, de plomb, de mercure, à l'hydrogène sulfuré, à l'ammoniaque et aux cyanures. Enfin les substances organiques capables de fermentation consomment l'oxygène normalement contenu dans l'eau et en privent les poissons. La neutralisation de ces composés désagréables n'est pas facile; il faut réduire la concentration de ces substances à moins de 50 ppm (50 ml/m³ d'eau). Le système de purification le plus simple consiste à diluer les eaux de rebut dans une autre eau, après avoir éliminé l'acidité ou l'alcalinité et avoir enlevé, par décantation ou centrifugation, les gouttelettes les plus grosses des huiles et des particules solides en suspension; il faut, cependant, réaliser des dilutions très élevées, de 1:1000 à 1:16 000 fois avec des besoins journaliers de plusieurs millions de m³ d'eau qui peuvent dépasser, pour les grandes raffineries, 500 millions de m³. Quand la disponibilité en eau est insuffisante pour obtenir la neutralisation avec la dilution seulement, et c'est ce qui se produit dans la plupart des cas, cette déficience est compensée par l'extraction d'une partie des substances polluées jusqu'à réduire la concentration pour que l'on puisse compléter la purification avec l'eau disponible.

Pour extraire les composés désagréables des eaux de rebut, on peut utiliser plusieurs systèmes: lavage des eaux à contre-courant avec de l'essence ou d'autres solutions, insufflation d'air chaud ou de gaz de combustion, stripping avec de la vapeur, etc. Dans quelques installations, dont le nombre augmente toujours plus, les eaux de rebut sont presque totalement récupérées en poussant la purification jusqu'à obtenir une pureté suffisante pour remettre en circuit les eaux régénérées.

Le système d'épuration le plus suivi est l'élimination par stripping des composés volatils, la floculation avec du sulfate d'aluminium ou autres sels,

la séparation gravimétrique des huiles. Il est bon cependant de spécifier qu'il est toujours possible de purifier les eaux de rebut à un prix supportable sur le plan industriel.

La désodorisation, si elle est bien faite, élimine complètement les eaux désagréables de rebut. Dans certains cas, on est arrivé jusqu'à alimenter avec ces eaux un aquarium comprenant les qualités de poissons les plus sensibles.

Effluents gazeux

Examinons maintenant les effluents gazeux.

Les effluents gazeux des raffineries sont constitués par les produits suivants : hydrocarbures dispersés directement dans l'atmosphère par évaporation, gaz de combustion du combustible consommé pour les besoins thermiques de la raffinerie, gaz de combustion des produits malodorants de rebut provenant de la purification des gaz incondensables, des gaz liquides, des essences, des eaux de rebut, de la régénération des catalyseurs, etc.

a) *Dispersion par évaporation*: Chaque fois que l'on verse du pétrole dans un récipient, il en sort, par déplacement, un égal volume de gaz ou d'air saturé ou sursaturé d'hydrocarbures d'odeur plus ou moins désagréable. Vu le grand volume de pétrole brut traité journalièrement pour les nombreux passages nécessaires à la purification, le volume de gaz déplacé est de l'ordre de milliers de m³ par jour et on peut déplorer des pollutions de substances malodorantes, qui n'intéressent cependant que les alentours immédiats de la raffinerie. La dispersion par déplacement peut être facilement évitée (ce qui, du reste, advient normalement pour éliminer les pertes inutiles, ou au moins en ce qui concerne les récipients de très gros volume) en reliant les deux récipients, entre lesquels est effectué le transvasage, par une conduite construite de manière à envoyer dans le récipient d'où vient le liquide, le gaz provenant du récipient dans lequel on verse le liquide. Quand il n'est pas possible de récupérer les gaz expulsés par déplacement, ceux-ci peuvent être captés par aspiration et envoyés à la purification par combustion. Dans les grandes citernes de stockage, la température varie au cours des 24 heures suivant le cycle de la température externe. Au cours des heures les plus chaudes, une partie des gaz saturés, qui occupent l'espace libre situé dans la citerne entre la surface du liquide et le toit de la citerne, est expulsée de la citerne par la dilatation des gaz due à l'augmentation de la température (environ 10% du volume du gaz pour chaque 30°C). Durant les jours ensoleillés, l'élévation de la température à l'intérieur de la citerne peut être sensiblement supérieure à l'élévation de la température externe.

On combat la dispersion dans l'atmosphère en reliant les citernes à l'installation d'assainissement par barbotage dans une solution de Cl_2 ou par combustion. La dispersion des hydrocarbures malodorants dans l'air a lieu également pour toutes les pertes accidentelles en relation avec la circulation des produits : mauvaise tenue des installations et des conduites, dispersion et

diffusion pendant les transvasages, échappement provenant des soupapes de sécurité, etc. La pollution de l'air due aux pertes accidentelles, qui intéresse seulement le voisinage des installations, s'élimine avec une bonne manutention.

En effet il n'est pas possible, à l'intérieur de la raffinerie, d'éliminer complètement les dispersions des gaz et des vapeurs nauséabondes. On peut cependant obtenir à un prix supportable, industriellement parlant, que ces pollutions locales ne surviennent que dans quelques zones restreintes de la raffinerie sans intéresser l'extérieur.

Gaz d'échappement des cheminées

Considérons maintenant les effluents des cheminées, qui sont de loin les plus importants quant aux effets des pollutions. Alors que les dispersions par évaporation ou déplacement de gaz peuvent causer des pollutions n'intéressant que le voisinage immédiat des raffineries, les effluents des cheminées peuvent provoquer des pollutions bien plus étendues qui peuvent intéresser également des zones se situant à plusieurs kilomètres de distance de la raffinerie. La raffinerie, comme on l'a déjà dit, brûle une certaine quantité de combustible pour faire front à ses besoins thermiques et brûle aussi tous les déchets désagréables pour les transformer en produits inoffensifs. Citons parmi ces déchets les substances goudronneuses, l' H_2S , les mercaptans légers, le résidu de la purification des gaz incondensables, des gaz liquides, des essences, huiles et autres rebuts obtenus au cours de la purification des eaux, etc.

Le total des produits brûlés, ainsi que nous l'avons déjà vu, est égal à 3% du poids du pétrole brut avec le topping et arrive à 10% quand le raffinage est complété avec le cracking catalytique. A titre d'exemple, une raffinerie de moyenne puissance qui travaille 6000 tonnes par jour de pétrole brut, brûle, si l'on compte combustible et déchets, 180 tonnes par jour, quantité qui monte jusqu'à 500 tonnes par jour avec le cracking catalytique.

Dans les gaz de combustion des produits pétrolifères, outre N_2 et O_2 , non brûlés par l'air d'alimentation, on devrait théoriquement trouver seulement CO_2 , H_2O et SO_2 .

En pratique, la combustion n'est jamais complète et dans les gaz de combustion on trouve toute une série de substances qui se forment au cours de la combustion des pétroles: CO , NH_3 , oxydes d'azote, H_2S , méthane et autres hydrocarbures, aldéhydes, phénols, acides organiques sulfurés, etc.; les plus lourdes de celles-ci sont émises à l'état liquide ou solide et constituent ces fumées formées de particules de dimensions inférieures au micron. Les matières brûlées dans les raffineries sont très riches en soufre, si bien que, dans le gaz de combustion, après l'anhydride carbonique et l'eau, ce sont les dérivés du soufre et plus spécialement le SO_2 et les composés organiques sulfureux qui prévalent.

L'odeur piquante du SO_2 dans l'air se sent quand il est concentré à 3 ppm, soit à environ 7,8 mg par m^3 ; en ce qui concerne la pollution tolérable maximum

pour l'atmosphère des centres habités et agricoles, on estime généralement qu'elle est de l'ordre de 2,6 mg par m³, soit 1 ppm, c'est-à-dire une concentration trois fois inférieure à celle qui est nécessaire pour en sentir l'odeur. Il n'a pas été fixé de limite pour les composés sulfureux; on considère que la concentration est supérieure à ce qui est tolérable quand la perception des odeurs désagréables provoque une gêne pour l'odorat. L'odeur nauséabonde des composés sulfureux organiques dispersés dans l'air se sent déjà à partir d'une concentration de $\frac{1}{100}$ de mg par m³ et cette valeur peut être considérée comme la limite maximum tolérable pour les pollutions atmosphériques.

Outre l'action de gêne provoquée par les composés organiques présents dans les gaz de combustion, on devrait également considérer l'éventualité d'une action nocive pour la santé. Cette évaluation est cependant pratiquement impossible, étant donné que l'on ne connaît pas la composition chimique de ces substances; on sait qu'il y a des phénols, des aldéhydes, etc., mais on en ignore la formule chimique et par conséquent la toxicité. Leur concentration dans les gaz est également inconnue, d'autant plus que cette dernière varie notablement, même pour le même type de combustible, suivant la manière dont est effectuée la combustion. En ne considérant pas les gaz inertes du point de vue toxicologique, comme le méthane et les autres hydrocarbures légers, la teneur en composés organiques sulfureux de la fraction organique des gaz de combustion des raffineries est toujours supérieure à 10%; en maintenant leur concentration dans l'air au-dessous de la limite à laquelle a lieu l'action de gêne due à la mauvaise odeur (c'est-à-dire au-dessous de 0,01 mg par m³) la concentration dans l'air des composés organiques dispersés avec les gaz de combustion reste inférieure à 0,1 mg par m³. Cette valeur est suffisamment basse pour offrir aussi une certaine garantie contre la toxicité vraie et propre. Toutefois, nous le répétons, un avis certain ne peut absolument pas être exprimé, car il s'agit de substances inconnues et l'on ne peut exclure la possibilité d'éventuelles actions synergiques.

En dehors des hommes, l'empoisonnement atmosphérique peut être nocif également pour la *végétation*; en effet, les plantes sont bien plus sensibles aux poisons que l'homme.

Parmi tous les épisodes de pollution atmosphérique causés par les raffineries de pétrole qui se sont produits jusqu'à aujourd'hui, le dommage pour la population s'est limité à une gêne due à la perception des odeurs désagréables dans l'atmosphère; alors qu'il a été absolument impossible de mettre en évidence des dommages pour la santé, pour la végétation en revanche plusieurs dégâts ont été constatés et ils étaient importants dans certains cas.

Seul le SO₂ nous intéresse dans le cas spécifique de la végétation; les autres substances qui peuvent être dispersées dans l'atmosphère: H₂S, hydrocarbures, etc. sont relativement peu toxiques pour elle; l'H₂S commence à être nocif à des concentrations supérieures à 40 ppm, les hydrocarbures à des concentra-

Dans le tableau II on a séparé quelques-unes des plantes les plus communes en trois catégories: très sensibles, moyennement sensibles, résistantes. A côté de chaque plante est indiquée la concentration en ppm de SO₂ qui peut causer un dommage initial appréciable après une heure d'exposition à une humidité de 100 % et pendant la période de la plus grande sensibilité de la plante. L'espèce la plus sensible est l'alfa qui peut être endommagée par une concentration de 1,25 ppm. L'action nocive ne varie pas en proportion directe avec la concentration de SO₂; par exemple, l'alfa peut tolérer 0,3 ppm sans aucun dommage, même pendant des périodes très longues; 2 à 3 ppm peuvent sérieusement l'endommager, même pendant des périodes très courtes. Généralement on considère que pour éviter des dommages aux plantes, il est nécessaire de maintenir la concentration de SO₂, au sol, au-dessous de la ppm, pendant la période la moins favorable du point de vue climatique; on entend par là la période pendant laquelle la turbulence de l'air est réduite au minimum et la dispersion des impuretés de l'atmosphère est très lente, si bien qu'au sol, les pollutions les plus importantes se produisent. Ces conditions défavorables ont lieu avec un vent faible de 2-3 km/h et inversion de température; leur fréquence moyenne varie naturellement de région en région, mais elle est toujours de l'ordre de quelques heures par semaine. L'*inversion* est un phénomène très important pour la pollution; la température de l'air, en conditions normales, décroît en se dirigeant vers le haut. Au contraire, s'il y a inversion, la température de l'air augmente en allant vers le haut, autrement dit l'air du bas est plus lourd que l'air du haut. Dans le cinquième rapport du Comité d'experts de l'Assainissement de l'Organisation mondiale de la Santé, on peut lire ce qui suit:

«Lorsqu'il y a inversion de température, l'atmosphère est caractérisée par une extrême stabilité. Les contaminants libérés ont alors tendance à rester en couche mince. Cet effet est souvent accentué par le fait que l'inversion à basse altitude s'accompagne généralement d'un vent faible ou nul, et que la dispersion des contaminants ne peut se faire ni en surface, ni en altitude. Lorsque la stagnation est extrême, la pollution peut atteindre des concentrations assez élevées pour atténuer sensiblement le rayonnement solaire parvenant à la surface, favorisant ainsi la persistance de l'inversion. Dans tous les cas de pollution aiguë qui ont été signalés jusqu'à présent, les conditions atmosphériques étaient caractérisées par une inversion de température au voisinage du sol et par une faible vitesse du vent. L'inversion à basse altitude est le plus souvent provoquée par un rayonnement thermique nocturne du sol vers l'atmosphère. Par un jour sans nuage, au coucher du soleil, ou peu de temps après, l'air se refroidit rapidement au voisinage du sol; une inversion se forme progressivement, augmente d'intensité et de profondeur pendant la nuit et atteint un maximum entre minuit et l'heure du minimum de température en surface. Pendant ce temps, les contaminants libérés à l'intérieur ou au-dessous de la couche d'inversion sont emprisonnés dans cette couche. D'autre part, les contaminants libérés des hautes

cheminées à un niveau dépassant la couche d'inversion ne reviennent pas vers le sol. Lorsque le jour se lève, le sol se réchauffe et l'inversion disparaît progressivement à partir du sol. Le rapide brassage qui se produit alors dans les couches inférieures plaque parfois les contaminants au sol. C'est le phénomène de « fumigation ».

En considérant la prévention de la pollution atmosphérique, il faut toujours se rapporter aux conditions de l'inversion, c'est-à-dire aux conditions atmosphériques défavorables qui, il est vrai, ne sont pas très fréquentes, mais peuvent donner des pollutions aiguës.

Contenu en soufre des gaz de combustion des cheminées

Les pollutions atmosphériques des raffineries sont pratiquement dues aux composés organiques sulfureux qui peuvent causer une gêne pour la population à cause de leur odeur désagréable et au SO₂ qui peut endommager la végétation; l'apport des autres substances nocives et désagréables (composés azotés, phénols, aldéhydes, etc.) est toujours négligeable si on le compare à celui des composés du soufre. Pour considérer l'entité des substances polluées, il est bon de faire le bilan du soufre qui est déchargé dans l'atmosphère.

La teneur en soufre des pétroles bruts oscille considérablement selon la provenance; de 0,19% de bruts de la Côte du Golfe on arrive à 1,8% pour les pétroles de l'Amérique du Sud (tabl. III). Ceux qui sont travaillés en Europe proviennent presque exclusivement du Moyen-Orient et du Vénézuéla et sont parmi les plus riches en soufre, ayant une teneur moyenne supérieure à 1,5% et qui peut dépasser le 3%.

| | |
|---|-------|
| <i>Amérique</i> | |
| Côte du Golfe | 0,19% |
| Texas oriental. | 0,26% |
| Valeur moyenne U.S.A.. | 0,75% |
| Californie | 1,05% |
| Vénézuéla | 1,36% |
| Texas occidental. | 1,38% |
| Mississippi | 1,60% |
| Amérique du Sud | 1,80% |
| <i>Moyen-Orient</i> | |
| Iran, Irak, Koweït, Arabie Séoudite, Egypte | 1,60% |

Tableau III: Contenu moyen en soufre de quelques pétroles bruts.

Le soufre des pétroles bruts est lié presque entièrement à des composés organiques lourds; le poids de ces substances est de quatre à huit fois supérieur à celui du soufre qu'ils contiennent; la teneur des pétroles bruts riches en soufre peut être supérieure à 10% de composés sulfureux.

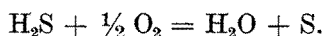
Dans la distillation primaire (topping) les composés sulfureux se répartissent dans les diverses tranches où se trouve subdivisé le pétrole brut et comme ils ont pour la plupart un point d'ébullition élevé, ils passent presque tous dans les fractions lourdes; dans les essences on retrouve moins de 1% du soufre contenu dans le pétrole brut.

Avec le topping, il passe environ 4% du soufre contenu dans le pétrole brut dans les gaz de combustion, dont 3% avec les gaz de combustion de la centrale thermique et 1% pendant la combustion des produits de déchet de la purification des essences.

En complétant le raffinage avec la pyroscission pendant le cracking, une bonne partie des composés sulfureux est détruite et transformée en H₂S et en composés organiques sulfureux légers qui se retrouvent dans les trois tranches légères – gaz incondensables (H₂, CH₄, etc.), gaz condensables (gaz liquides), essences – et passe dans les déchets de purification de ces produits.

Avec la pyroscission, il passe dans les déchets environ 30% du soufre contenu dans le pétrole brut, soit: 23% provenant de la purification des gaz: ce soufre est pour 95% sous forme de H₂S et pour le reste lié à des composés organiques de faible poids moléculaire; 2% provenant de la purification des essences (le soufre est lié à des composés organiques à poids moléculaire de 150/200); 4% provenant des combustibles; 1% provenant de la régénération des catalyseurs (le soufre déposé avec les brais sur les catalyseurs est lié aux composés organiques de poids moléculaire supérieur à 300).

La dispersion dans l'atmosphère peut être évitée uniquement pour le soufre de l'H₂S, provenant de la purification des gaz condensables. La récupération de ce soufre, qui représente les $\frac{2}{3}$ de celui qui doit être brûlé dans le raffinage doté de cracking, est facilitée par la forte concentration de l'H₂S (95% environ) dans les gaz de rebut obtenus par la purification des gaz condensables. La récupération peut être obtenue de deux manières: dans la première, l'H₂S est brûlé avec la quantité d'oxygène nécessaire pour le transformer en soufre et eau:



Dans le deuxième cas, H₂S est brûlé; le SO₂ obtenu est successivement transformé en H₂SO₄.

La récupération de H₂S réduit non seulement à $\frac{1}{3}$ le SO₂ dispersé, mais encore est très utile. Désormais ce procédé est entré dans la pratique normale du travail. Aux U.S.A., on récupère annuellement plus de 500 000 tonnes de soufre, ce qui correspond à plus de 15% du soufre contenu dans le pétrole brut.

Désodorisation par combustion

Le soufre qui est dispersé dans l'atmosphère après combustion provient de composés organiques dont l'odeur est encore perceptible dans l'air à des concentrations de l'ordre de 0,01 mg par m³, soit un taux 300 fois inférieur à

la limite maximum tolérable du SO_2 , qui est de 1 ppm, soit environ 2,7 mg par m^3 . En se souvenant que le poids moléculaire des composés organiques sulfureux est d'environ 200 et que le poids moléculaire du SO_2 est de 64, on voit que le pouvoir de pollution des composés organiques sulfureux est environ 800 à 1000 fois supérieur à celui du SO_2 qui s'obtient en les brûlant; ainsi, grâce à la combustion, la capacité de pollution se trouve diminuée de presque 1000 fois.

Ce fait met en évidence les avantages que l'on a à brûler tous les résidus. Il est cependant évident que si la combustion des composés organiques n'est pas complète, ceux-ci peuvent causer des pollutions atmosphériques de vaste portée; effectivement les plaintes au sujet des raffineries ont presque toujours été causées par des pollutions dues à des substances malodorantes dispersées par combustion défectueuse des composés organiques sulfureux. Ces plaintes ont cessé aussitôt que la combustion a été améliorée.

A Milan, une raffinerie dotée de cracking, construite en 1953-1954 à 6 km environ de la banlieue de la ville, a causé, pendant les premiers temps de son fonctionnement, des pollutions dues à des substances nauséabondes particulièrement gênantes pour les habitants. La pollution commençait à 6-8 km environ de distance de la raffinerie et s'étendait jusqu'à des zones distantes de la raffinerie de plus de 20 km.

Pourtant les installations avaient été étudiées en Amérique, où elles fonctionnaient régulièrement depuis des années.

Transférées en Italie, elles ont dû traiter des pétroles bruts du Moyen-Orient, d'une teneur en soufre environ dix fois supérieure à celle des pétroles bruts américains. Cela a mis en crise les installations de purification prévues pendant la phase de projet et il a été nécessaire d'accroître la régénération du cracking, de réduire la dispersion du SO_2 (transformation en H_2SO_4 du SO_2 obtenu par la combustion du H_2S), enfin d'améliorer la purification des eaux avec stopping, décantations, etc.

Finalement la pollution a été éliminée et, depuis 1954, il n'y en a plus eu. Pour éliminer l'odeur désagréable des déchets envoyés à la combustion et qui contiennent environ les $\frac{9}{10}$ du soufre qui est dispersé dans l'atmosphère, les rendements de combustion doivent être très élevés, de l'ordre de 99 à 99,5%.

Selon les normes API, tous les résidus à éliminer doivent être recueillis et dirigés dans un four de combustion avec un foyer de volume égal à au moins trois fois celui des gaz brûlés à la minute. La température du foyer doit être de 500° à 700°C (600° à 700°C pour les liquides et les aérosols) avec un excès d'air de 50%. La continuité de la flamme et la température de combustion doivent être garanties par un brûleur auxiliaire.

Toujours selon les normes API, on peut utiliser pour les gaz un flambeau formé par une courte cheminée en maçonnerie ou en métal pour de petites installations, avec une ouverture au fond pour l'appel de l'air de combustion.

Pour le flambeau également, la température et la continuité de la combustion doivent être assurées par une flamme auxiliaire. L'API conseille de détruire tous les rebuts dans un four et d'utiliser le flambeau seulement pour les stocks occasionnels ou comme four de réserve.

Les résidus déposés sur les catalyseurs méritent un aperçu particulier. Dans certaines installations, la chaleur dégagée par la combustion des résidus pendant la régénération peut arriver à des températures supérieures à celles que peuvent supporter les catalyseurs (600°C pour les silico-alumineux). Pour éviter des pertes de catalyseurs, la température doit être freinée ou bien il faut émettre de l'air dilué avec des gaz épuisés en ralentissant l'émission de l'air; par conséquent, dans la phase initiale, la combustion s'effectue avec un manque d'oxygène et l'évacuation des gaz riches en fumée et en substances organiques est favorisée.

Dans ces cas-là, les fumées doivent être éliminées, soit en purifiant les gaz (par des lavages, des filtrations, etc.), soit, mieux encore, en complétant la combustion avec de l'air subsidiaire après la sortie du régénérateur.

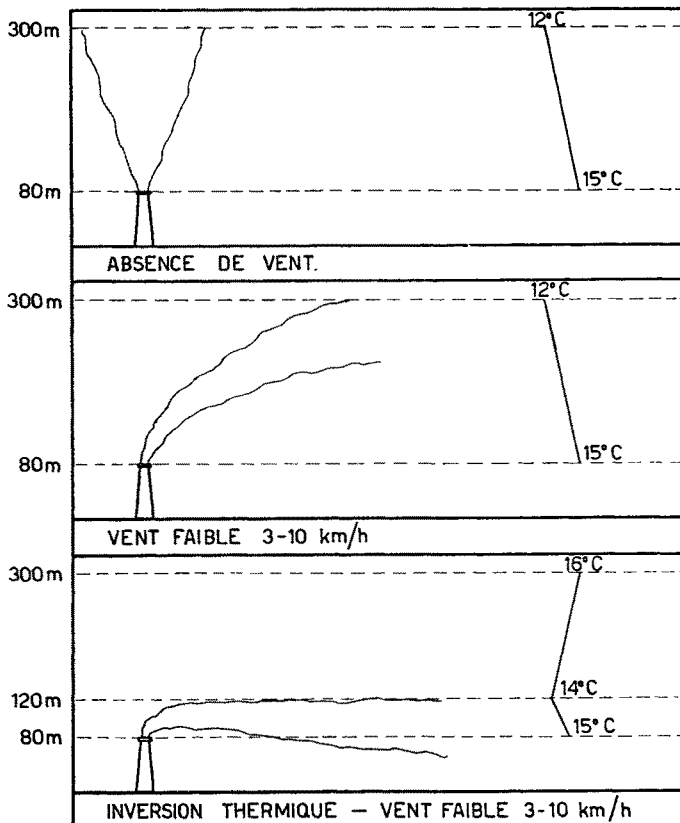


Fig. 3: Dispersion des fumées dans l'atmosphère.

Dispersion du SO_2 dans l'atmosphère

Avec un bon aménagement des installations, le polluant essentiel contenu dans les effluents gazeux de la raffinerie est le SO_2 ; avec le topping, il passe dans les gaz de combustion environ 4% du soufre contenu dans le pétrole brut, et avec le cracking, il en passe environ 8%. Une raffinerie de moyenne puissance, qui traite 6000 tonnes par jour de pétrole brut à 3% de soufre disperse 15 tonnes par jour de SO_2 si le travail est limité au topping et 30 tonnes par jour si le raffinage comprend également le cracking; pour les grandes raffineries, la dispersion de SO_2 peut dépasser 100 tonnes par jour.

Le SO_2 est dilué dans les gaz de combustion et il ne peut être récupéré en raison du coût excessif auquel reviendrait la récupération; pour éviter des pollutions désagréables, il doit être émis dans l'atmosphère à une hauteur suffisante pour que la dilution au-dessous de la concentration maximum tolérable soit assurée, avant qu'il ne rejoigne le sol. Les fumées et les gaz émis dans l'atmosphère suivent l'air dans ses mouvements; ils se déplacent tout au long de la direction du vent et en même temps se dispersent par effet de turbulence. Quand le vent est très fort et instable, les fumées et les gaz sont rapidement dispersés et ne causent pas de pollutions appréciables (fig. 3). En l'absence de vent, les produits de la combustion, par suite de la température élevée à laquelle ils sont émis dans l'atmosphère, sont plus légers que l'air, ils montent donc verticalement en s'ouvrant vers la hauteur, et le panache prend la forme d'un cône vertical retourné vers le haut, avec sommet sur la cheminée. Dans ce cas également les gaz ne causent pas de pollutions au sol. Avec un vent faible (3-10 km/h), une température normale, c'est-à-dire une température de l'air qui décroît en se dirigeant vers le haut, les fumées montent encore et la pollution au sol est négligeable.

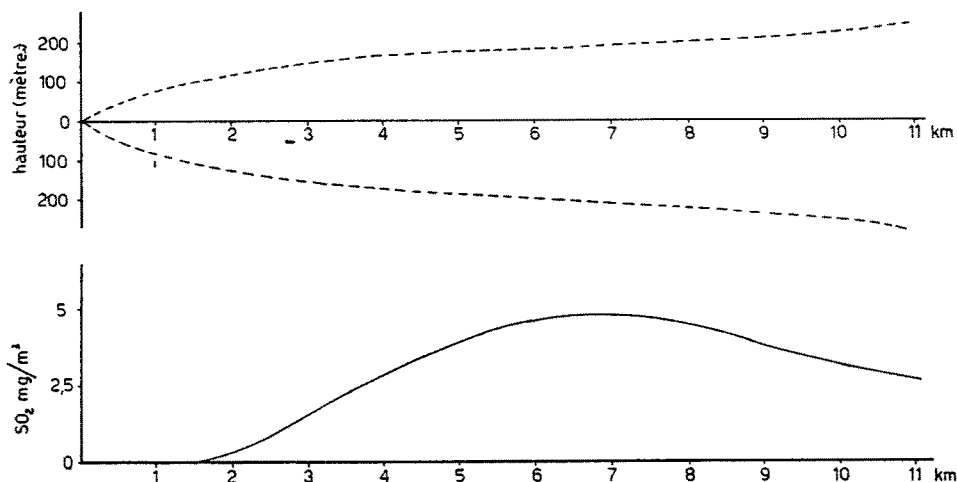


Fig. 4: Dispersion dans l'atmosphère du panache et concentration au sol (émission de 6 q/h de SO_2 - début de dispersion à 100 mètres - vent de 3 km/h).

Avec un vent de 3 à 10 km/h et une inversion thermique (température de l'air qui augmente en allant vers le haut), les fumées suivent la direction du vent, s'ouvrent lentement en un très long cône dont l'axe est parallèle au terrain et le sommet sur la cheminée. De ce fait, la dilution se poursuit lentement et les fumées tendent à rester concentrées (fig. 4).

Par conditions atmosphériques particulièrement contraires à la dilution des gaz, on entend précisément ces périodes au cours desquelles le vent est faible et règne une inversion thermique; en cas d'inversion thermique l'air, au niveau du sol, est à une température inférieure à celle de l'air qui se trouve à des niveaux plus élevés; il est donc plus pesant et les phénomènes de turbulence qui facilitent la dispersion des gaz sont bloqués. Au début les fumées sont élevées par rapport au terrain, mais au fur et à mesure qu'elles se répandent en s'éloignant des cheminées, leur zone inférieure se rapproche toujours plus du sol. Quand le rayon de la section d'expansion devient égal à la hauteur de la cheminée, la zone inférieure des fumées commence à lécher le terrain. Au début, le contact entre le terrain et le cône de dispersion est limité aux bords externes où les gaz sont dilués; la dispersion continuant, le terrain est rejoint par les zones externes du panache, moins diluées que les zones internes; la concentration au sol augmente jusqu'à l'arrivée sur le terrain de la zone centrale, après quoi cette concentration commence à décroître pour poursuivre son expansion.

Hauteur des cheminées: Le maximum de pollution a lieu quand l'ouverture de la fumée a un rayon égal à la hauteur à laquelle commence la dispersion; avec des conditions atmosphériques les plus défavorables pour la dispersion des fumées, cette hauteur est de peu supérieure à la hauteur de la cheminée;

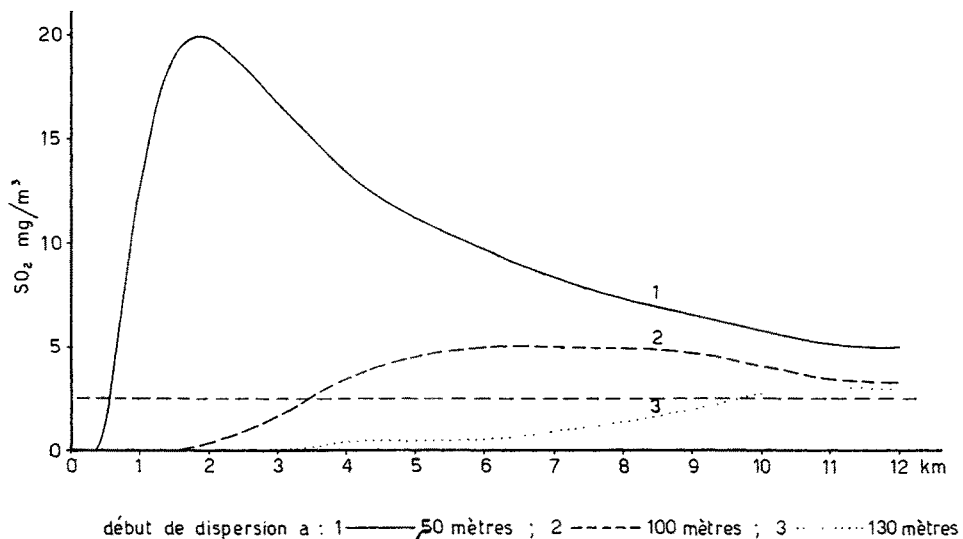


Fig. 5: Concentration au sol avec début de dispersion à 50-100-130 mètres de hauteur (émission de 6 q/h de SO_2 - vent de 3 km/h).

par conséquent la concentration au niveau du sol, à égalité de conditions atmosphériques, est nettement influencée par la hauteur de la cheminée. Plus celle-ci est élevée, plus grande est la dilution subie par les gaz avant d'arriver au sol. L'effet de la hauteur de la cheminée est schématisé dans la fig. 5, où sont indiquées les concentrations au sol avec une émission de 6 q/h de SO₂ (vent de 3 km/h) avec début de dispersion à 50–100–130 mètres de hauteur. Quand la dispersion commence à 50 mètres du sol, le SO₂ atteint le maximum de 20 mg par m³ à 1000 mètres de la cheminée; après 12 km, il est encore à une concentration supérieure à la limite maximum tolérable. Avec une dispersion à 100 mètres de hauteur, le maximum de SO₂ est réduit à 5 mg par m³ et la zone polluée est comprise entre le 4e et le 12e km. Avec une dispersion à 130 mètres, la concentration au sol (maximum 12 km) est pratiquement toujours inférieure au maximum tolérable. Outre la concentration, la hauteur de la cheminée influe aussi sur la superficie de la zone polluée.

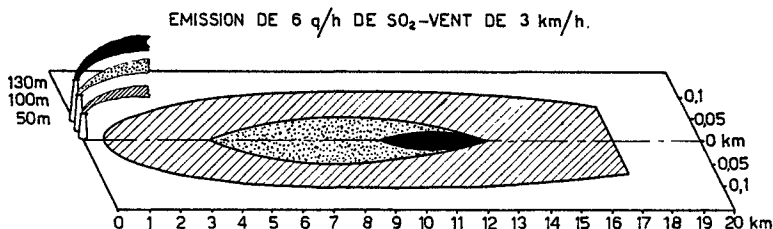


Fig. 6: Surface polluée au-dessus de 2,6 mg/m³ (1 ppm).

Dans la fig. 6 sont représentées les surfaces polluées au-dessus de la limite tolérable, toujours avec une émission de 6 q/h de SO₂, avec des hauteurs de dispersion de 50–100–130 mètres. L'aire polluée, quand la dispersion commence à 100 mètres de hauteur, est environ quatre fois inférieure à celle qu'on aurait si les dispersions s'effectuaient à 50 mètres. Avec des dispersions à 130 mètres, la pollution est limitée à une zone très restreinte, à environ 12 km de la cheminée.

La largeur de la zone polluée, perpendiculairement à la direction du vent, est de l'ordre de 100–200 mètres. Ces valeurs sont calculées pour des conditions atmosphériques particulièrement défavorables qui peuvent avoir lieu seulement quelques heures par an. Au cours de recherches entreprises sur les effluents de nombreuses cheminées, dans les conditions climatiques les plus défavorables, nous n'avons jamais rencontré de concentrations supérieures à 50% de celles calculées théoriquement. D'autre part, comme il s'agit de limites de sécurité, il est nécessaire de prévoir les conditions les plus mauvaises avec une certaine marge. En mettant 1 ppm comme limite maximum pour les conditions climatiques les plus défavorables, la concentration moyenne est automatiquement portée au-dessous de 1/100 de ppm. Pour garantir une concentration maximum de SO₂ inférieure à 1 ppm, la cheminée doit avoir une hauteur en mètres de :

$$m = 45\sqrt{q}$$

où « q » indique les quintaux de SO₂, émis en une heure.

Sur le tableau IV sont reportées les hauteurs théoriques nécessaires pour la cheminée, calculées pour divers débits de SO₂.

| SO ₂ contenu dans les gaz g/h t/j | | Hauteur en mètres de la cheminée |
|--|-----|----------------------------------|
| 1 | 2,4 | 45 |
| 4 | 8,8 | 90 |
| 10 | 24 | 140 |
| 20 | 48 | 200 |
| 40 | 96 | 280 |

Tableau IV: Hauteurs théoriques des cheminées nécessaires pour éviter des concentrations de SO₂ > 1 ppm en posant $m = 45\sqrt{q}$.

Avec des débits supérieurs à 25 tonnes/jour de SO₂, une cheminée de 150 mètres est nécessaire; avec 10 tonnes/jour, il suffit d'une cheminée de 100 mètres. Ces valeurs, à première vue, semblent énormes; il faut cependant remarquer que les raffineries aussi s'étendent sur une centaine d'hectares et coûtent des sommes énormes, de l'ordre de centaines de millions de francs suisses. La construction de très hautes cheminées (150 à 200 mètres) a toujours donné un débit satisfaisant pour la dispersion du SO₂.

Si le SO₂ est réparti sur plusieurs cheminées, celles-ci doivent avoir une dimension en rapport avec le SO₂ émis et il faudra laisser entre elles un minimum de 4 fois la hauteur de la plus haute et les disposer orthogonalement à la direction préférentielle des vents ou les aligner sur la direction qui mène à des zones où les pollutions ne créent pas d'ennuis. L'adoption de plusieurs cheminées n'est pas à conseiller pour des raffineries réparties dans des vallées très étroites.

Un autre avantage notable dû à la hauteur de la cheminée est que, plus la cheminée est haute, plus loin de la cheminée est la zone de pollution maximum au sol. Dans les conditions les plus défavorables, le vent a une vitesse de 3-4 km/h; si le maximum de la pollution est à 6-7 km de la cheminée (cheminée de 100 mètres de hauteur), il faut environ deux heures avant que les effluents n'arrivent dans la zone intéressée et il est extrêmement improbable que l'atmosphère reste rigoureusement calme pendant deux heures.

Une dispersion de quelques dizaines de tonnes de SO₂ par jour peut sembler à première vue énorme; en fait, avec le développement important et continu de la technique - progrès dont, en définitive, nous profitons de tous les avantages -, cela rentre presque dans les normes: il suffit de penser aux grandes usines thermo-électriques qui brûlent des milliers de tonnes de combustibles par jour et peuvent disperser 200-300 tonnes de SO₂ par jour. Une raffinerie qui

répand 15 tonnes par jour de SO_2 à partir de cheminées suffisamment hautes, provoque des pollutions du même ordre de grandeur que celles causées par les installations de chauffage domestique d'une petite ville de 20 000 à 30 000 habitants. A Milan, en hiver, les installations de chauffage domestique dispersent plus de 200 tonnes de SO_2 par jour. Dans le département de la Seine (communication de la Préfecture de la Seine), il a été dispersé en 1959 dans l'atmosphère plus de 180 000 tonnes de SO_2 , dont la moitié environ dans la zone centrale de Paris, avec une moyenne journalière de 300 tonnes par jour en été et de 700 tonnes par jour en hiver, et des pointes, pendant les périodes les plus froides, certainement supérieures à 1000 tonnes par jour.

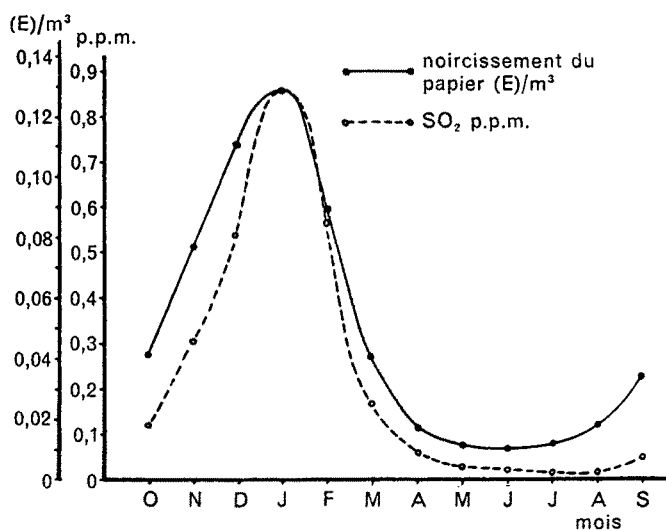


Fig. 7: Variations mensuelles de la teneur de l'air extérieur en poussières et en SO_2 .

Naturellement les effets de ces dispersions sont appréciables; sur la fig. 7 est reportée la concentration mensuelle moyenne de SO_2 rencontrée dans l'atmosphère de Paris en 1959 durant l'hiver; cette concentration moyenne dépasse $\frac{1}{3}$ de ppm; la concentration moyenne des fumées dépasse 0,3 mg par m^3 .

Les pollutions atmosphériques hivernales de Paris, communes d'ailleurs à toutes les grandes villes, ne sont pas à prendre comme modèle; elle servent cependant à justifier cette limite maximum de 1 ppm admis pour le SO_2 dispersé par les raffineries, maximum qui n'est atteint en fait que quelques heures par an, ce qui porte automatiquement la concentration moyenne du SO_2 à des valeurs plusieurs fois inférieures à celles rencontrées dans les grandes villes.

Résumé et conclusions

En reprenant ce qui a été dit jusqu'ici, les raffineries doivent débiter avec les eaux et les effluents de rebut de notables quantités de produits désagréables parmi lesquels

dominent les composés sulfureux. La dispersion de ces substances causerait des pollutions de vaste portée, désagréables pour la population et dangereuses pour la végétation.

Avec une dépense facilement supportable, il est cependant possible de purifier ou de transformer les déchets des raffineries jusqu'à les rendre inoffensifs ou beaucoup moins nocifs; en ce qui concerne les effluents liquides, il faut extraire avec le «stripping» les produits les plus volatils et amener la teneur en substances organiques au-dessous de 50 ppm, soit 50 ml/m³, par floculation, séparation gravimétrique, etc. Pour les déchets qui doivent être dispersés à l'état gazeux après combustion, il suffit de veiller à ce que la combustion donne un rendement élevé, de l'ordre de 99%, avec des fours de dimensions suffisantes et maintenus à une température élevée, selon le cas, avec des combustibles subsidiaires. Si la prévention est effectuée suivant les règles de l'art, la pollution par des substances malodorantes est limitée à des zones restreintes de la raffinerie et n'intéresse pas l'extérieur. En pratique, les effluents gazeux ne peuvent causer des pollutions que par le SO₂ qu'ils contiennent, et qu'il n'est pas possible d'éliminer; pour neutraliser ce SO₂, il faut le disperser à des hauteurs suffisantes pour en garantir la dilution nécessaire, c'est-à-dire à des concentrations inférieures à 1 ppm, avant qu'il ne rejoigne le sol.

Aux alentours de Milan, il y a deux raffineries d'une puissance de 5000 tonnes par jour, dotées de cracking qui ne causent, actuellement, aucune pollution appréciable. D'autres grandes raffineries à La Spezia, à Mestre, à Naples, n'ont jamais donné lieu à des plaintes.

A Fawley, ESSO a une raffinerie qui disperse plus de 60 tonnes par jour de SO₂, pour laquelle il n'y a pas de réclamations. La hauteur des cheminées, pour ces raffineries, a été calculée de manière à ne pas dépasser une concentration de SO₂ de 1 ppm au sol; au cours des mesures effectuées dans les points de plus fortes pollutions, il n'a jamais été rencontré plus de 0,2 ppm.

Il y a des centaines d'autres exemples.

Les raffineries de pétrole, malgré leur très mauvaise réputation, peuvent très bien fonctionner sans gêner les voisins - à condition qu'elles adoptent les procédés nécessaires -, comme peuvent très bien fonctionner toutes les industries connues pour leurs pollutions atmosphériques causées dans le passé: cimenteries, fabriques de viscose, industries chimiques, etc. Naturellement il faut attentivement étudier et évaluer toutes les améliorations nécessaires soit à la marche du travail à effectuer, soit en fonction des conditions existantes dans la zone où sont installées les établissements.

Etant donné le grand pouvoir odorant, il suffit d'une petite négligence dans le projet des installations pour créer des pollutions désagréables de vaste portée. Quelquefois, et spécialement au cours des phases initiales de la mise au point des installations de constructions neuves, la pollution peut être une surprise même pour les techniciens, surtout quand on travaille des pétroles bruts différents de ceux pour lesquels le projet avait été envisagé. On possède les moyens de prévenir les pollutions, mais il faut avoir la volonté de les mettre en œuvre ou d'intervenir avec opportunité dès que l'on se rend compte que quelque chose ne fonctionne pas.

Schlußfolgerung und Zusammenfassung

Die Raffinerien stoßen mit dem Waschwasser und mit den Destillationsrückständen größere Quantitäten schädlicher Stoffe, zumeist sulfurierter Substanzen aus. Die unsachgemäße Ablagerung dieser Stoffe bedingt Luftverschmutzungen, die unangenehm für die Anwohner und gefährlich für die Vegetation sein können. Mit finanziell tragbaren Aufwendungen ist es aber möglich, die Abfallprodukte zu reinigen, zu entgiften oder sie zumindest in weniger aktive Verbindungen umzuformen. Aus flüssigen Abfällen sind durch das «Stripping-Verfahren» die flüchtigsten Verbindungen abzutrennen und zugleich den Gehalt an organischen Verbindungen durch Fällung oder gravimetrische Abtrennung usw. unter 50 ppm (50 ml/m³) zu halten. Zur Verhütung der bei unvollständiger Verbrennung möglichen gasförmigen, schädlichen Produkte muß man verlangen, daß die Verbrennungsöfen genügend groß dimensioniert sind und die Verbrennungstemperatur hoch genug ist, so daß mit eventuell zusätzlichen verbrennungsfördernden Mitteln ein Verbrennungsgrad der Stoffe von 99% erreicht wird. Werden diese Bedingungen eingehalten, so ist der Auswurf

schlecht riechender Stoffe gering und nur auf das Gebiet der Raffinerie beschränkt. So rufen gasförmig ausgeworfene Stoffe, außer dem vorhandenen SO_2 , keine gefährliche Luftverschmutzung hervor. Um die Wirkung des SO_2 zu vermindern, darf es erst in genügender Höhe das Kamin verlassen, damit eine gute Durchmischung mit der Luft erreicht wird und seine Konzentration in der Bodennähe auf jeden Fall unter 1 ppm liegt.

In der Umgebung von Mailand arbeiten zwei mit Cracking ausgerüstete Raffinerien mit Kapazitäten von 5000 t/tgl., welche bis jetzt keine zu beanstandende Luftverschmutzung bewirkten, ebenso gaben die Raffinerien von La Spezia, Mestre und Neapel nie zu Klagen Anlaß.

Die 50 t SO_2 , welche die Esso-Raffinerie in Fawley täglich auswirft, gaben nie Anstoß zu Reklamationen, da ihr Hochkamin so gebaut wurde, daß in Bodennähe keine höhere SO_2 -Konzentration auftreten kann als 1 ppm. In Wirklichkeit ergaben Messungen an sehr exponierten Stellen keine Konzentrationen über 0,2 ppm. Gleich diesen könnten noch Hunderte von andern Beispielen aufgeführt werden.

Trotz des schlechten Rufes können auch Raffinerien nach Ausrüstung mit den nötigen Anlagen gleich ändern, sonst als Quelle von Luftverunreinigungen bekannten Betrieben, wie Zement- und Viskosefabriken oder chemische Industrien, ohne Beeinträchtigung der Umgebung gut betrieben werden. Eine Voraussetzung ist aber, daß jede nur mögliche Verbesserung im Betrieb angewendet und allen Gegebenheiten der Umgebung, in welcher die Fabrik steht, in Berücksichtigung gezogen werden. Eine kleine Nachlässigkeit bei der Projektierung kann, wegen des Gestankes der Produkte, zu unangenehmen und weitreichenden Luftverpestungen führen. Hin und wieder, meist bei Inbetriebnahme neuer Einrichtungen, können Luftverschmutzungen zur Überraschung der Techniker auftreten, besonders wenn Rohpetrole anderer Zusammensetzung verarbeitet werden, für welche die bestehende Anlage nicht vorgesehen ist.

Le bruit dans l'industrie¹

Par *Dieter Högger*,

Chef du Service médical du travail de l'OFIAMT².

Les industries envahies par le vacarme sont très nombreuses: ateliers de tissage, chaudronneries et tôleries, fabriques de chocolat (tapoteuses), menuiseries, et ce sont loin d'être les seuls exemples.

L'intensité du bruit peut être considérable: 100 db (décibel) pour un grand moteur Diesel, 100 à 115 db pour une machine à air comprimé, 100 db pour un métier à tisser, 115 à 125 db pour les coups de marteau donnés sur la tôle dans les chaudronneries.

Le bruit intense a un double effet sur l'être humain; il est d'une part désagréable et d'autre part il est nocif pour l'oreille. Un ouvrier exposé pendant des années à un bruit très violent peut contracter une surdité professionnelle incurable. Celle-ci commence par des troubles insignifiants, mais, au bout de quelques années, peut devenir totale. La surdité professionnelle atteint, tout au moins au début, seulement les hautes fréquences. Elle passe généralement inaperçue de l'ouvrier puisqu'elle n'empêche pas la conversation (les sons

¹ Conférence donnée le 17 novembre 1960 lors d'une réunion du Groupement romand d'hygiène industrielle et de médecine du travail.

² Adresse: Kreuzstrasse 26, Zürich.