



**TOGETHER**  
*for a sustainable future*

## OCCASION

This publication has been made available to the public on the occasion of the 50<sup>th</sup> anniversary of the United Nations Industrial Development Organisation.



**TOGETHER**  
*for a sustainable future*

## DISCLAIMER

This document has been produced without formal United Nations editing. The designations employed and the presentation of the material in this document do not imply the expression of any opinion whatsoever on the part of the Secretariat of the United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) concerning the legal status of any country, territory, city or area or of its authorities, or concerning the delimitation of its frontiers or boundaries, or its economic system or degree of development. Designations such as “developed”, “industrialized” and “developing” are intended for statistical convenience and do not necessarily express a judgment about the stage reached by a particular country or area in the development process. Mention of firm names or commercial products does not constitute an endorsement by UNIDO.

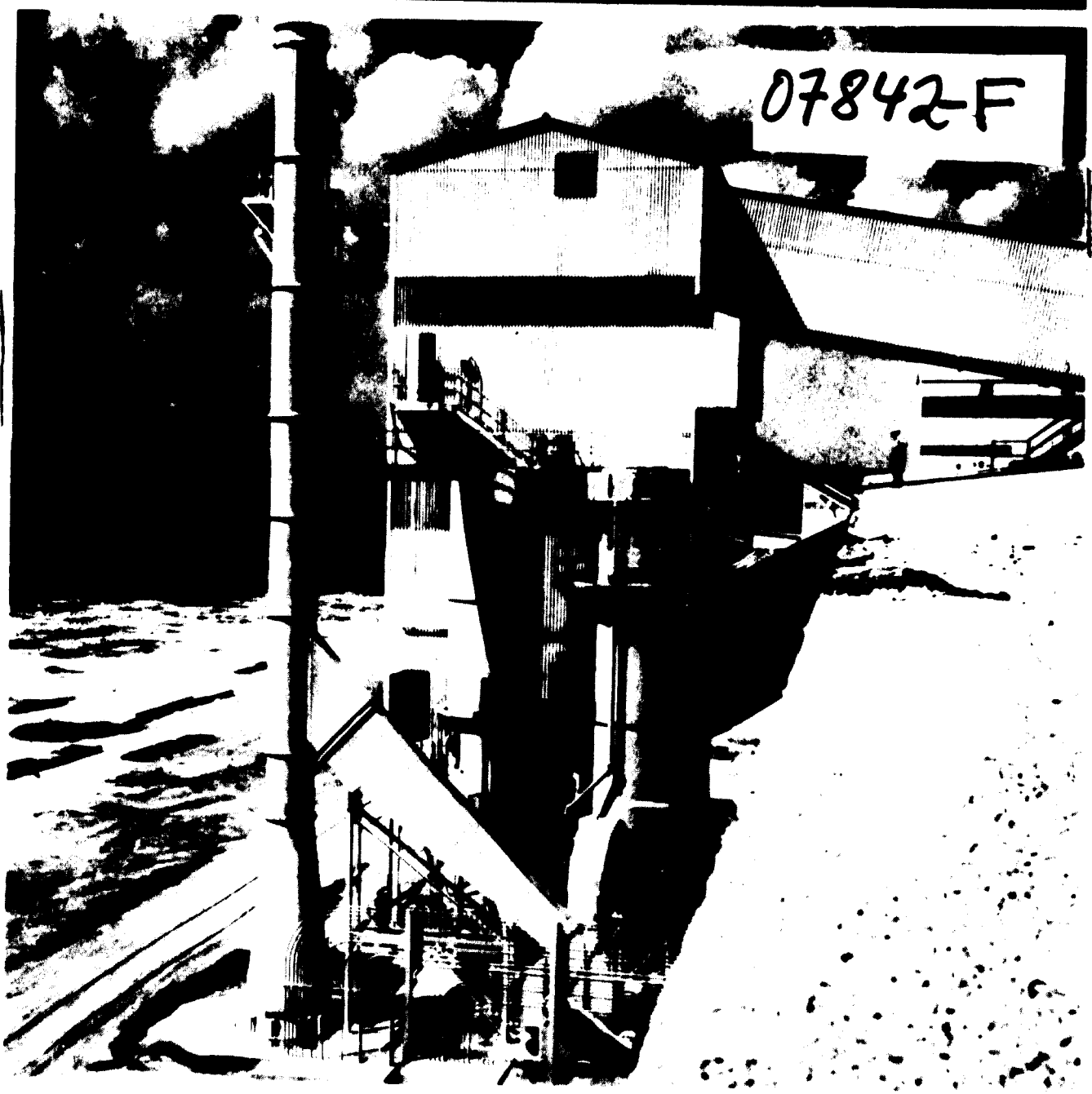
## FAIR USE POLICY

Any part of this publication may be quoted and referenced for educational and research purposes without additional permission from UNIDO. However, those who make use of quoting and referencing this publication are requested to follow the Fair Use Policy of giving due credit to UNIDO.

## CONTACT

Please contact [publications@unido.org](mailto:publications@unido.org) for further information concerning UNIDO publications.

For more information about UNIDO, please visit us at [www.unido.org](http://www.unido.org)



**Guide pour la lutte  
contre la pollution  
dans les usines d'engrais**

ORGANISATION DES NATIONS UNIES POUR LE DEVELOPPEMENT INDUSTRIEL  
Vienne

**Série "Industrie des engrais"**

*Monographie n° 9*

**Guide pour la lutte contre la pollution  
dans les usines d'engrais**



**NATIONS UNIES**  
**New York, 1978**

Les opinions exprimées dans la présente publication sont celles des consultants et ne reflètent pas nécessairement celles du Secrétariat de l'ONUDI.

ID/SER.F/9

**PUBLICATION DES NATIONS UNIES**

Numéro de vente : F.77.II.B.2

Prix : 2 dollars des Etats-Unis

(ou l'équivalent en monnaie du pays)

## Préface

La présente série de monographies a pour but d'aider les pays en développement en mettant à leur disposition les informations techniques et économiques les plus récentes sur l'industrie des engrais.

La présente monographie -- la neuvième de la série -- traite des aspects de la lutte contre la pollution dans les usines d'engrais. L'Organisation des Nations Unies pour le développement industriel (ONUDI) a reçu de nombreuses demandes à ce sujet de la part de pays en développement qui créent des usines d'engrais. En 1974, l'ONUDI y a répondu en organisant à Helsinki une réunion d'un groupe d'experts sur la pollution provoquée par les usines d'engrais, dont le rapport, diffusé sous la cote ID/140, présente les conclusions et les recommandations. Plus récemment, conformément au vœu exprimé dans la Déclaration et le Plan d'action de Lima concernant le développement et la coopération industriels, adoptés, en 1975, à la deuxième Conférence générale de l'ONUDI, une série de consultations sur le développement de l'industrie des engrais a eu lieu à Vienne. C'est à l'occasion de la première Réunion de consultation sur l'industrie des engrais, qui a eu lieu en janvier 1977, que les pays en développement ont demandé à nouveau qu'un guide sur la lutte contre la pollution dans les usines d'engrais soit publié afin de leur permettre de protéger leur environnement.

Cette monographie décrit les effluents chimiques -- gazeux et liquides ou aqueux -- provenant des usines d'engrais. Dans de nombreux cas, lorsque des mesures sont prises pour réduire ou éliminer complètement les effluents gazeux par lavage, on a comme résultat des effluents aqueux contenant des contaminants plus ou moins concentrés. Si des installations permettant de recycler d'une manière rentable ces effluents ne sont pas prévues, des mesures doivent être prises pour neutraliser leurs effets sur les eaux réceptrices du domaine public. Cette étude traite donc des mesures prises dans les installations de production d'engrais azotés et d'engrais phosphatés pour éliminer ou réduire les effets de ces effluents sur l'environnement. L'élimination du gypse sous-produit et d'autres déchets solides, tels que ceux qui proviennent des usines de traitement de la potasse, font également l'objet d'une brève description.

La présente étude résume également les critères de sélection du lieu d'implantation d'une usine dans une zone rurale "vierge" et contient des spécifications techniques destinées aux contractants chargés de l'installation pour leur permettre d'intégrer à l'usine, dès sa construction, des dispositifs antipollution. On trouvera également une description des méthodes destinées à mesurer les effets des usines d'engrais sur l'environnement auxquelles les décideurs et les investisseurs pourront se référer le cas échéant.

Cette monographie résume les directives sans évoquer des cas d'espèce ou entrer dans les détails pour résoudre les problèmes de la lutte contre la pollution dans les usines d'engrais.

Cette monographie a été préparée par le Secrétariat de l'ONUDI dans le cadre d'une étude permanente concernant ce secteur industriel. Le Secrétariat remercie le

Centre international de développement des engrais, dont le siège est aux Etats-Unis d'Amérique; le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE); l'Institut des engrais, des Etats-Unis; les spécialistes de la Banque mondiale; l'Office pour la protection de l'environnement (EPA), des Etats-Unis; la société Monsanto-Enviro-Chem Systems (Etats-Unis d'Amérique, Belgique) et l'Institut indien de recherche technique sur l'environnement, qui ont participé à la préparation de cette étude. M. Nelson Leonard Nemerow en a revu le texte en qualité de consultant de l'ONUDI.

# Table des matières

	<i>Pages</i>
<i>Introduction</i> .....	vii
1. <i>Effluents gazeux</i> .....	1
Ammoniac .....	1
Oxydes d'azote .....	1
Bioxyde de soufre .....	2
Fluorures gazeux .....	4
Brouillards, vapeurs, fumées et poussières .....	5
2. <i>Effluents liquides</i> .....	7
Engrais azotés et produits intermédiaires .....	7
Engrais phosphatés .....	9
Effluents provenant des chaudières et des tours de refroidissement .....	11
3. <i>Déchets solides</i> .....	13
Gypse .....	13
Autres déchets solides .....	14
4. <i>Potasse</i> .....	15
5. <i>Tendances en matière de lutte et de législation antipollution</i> .....	16
Pays développés .....	16
Pays en développement .....	16
Rôle de l'ONUDI .....	17
6. <i>Implantation d'usines dans des zones rurales "vierges" de pays en développement</i> .....	18
Guide pour l'établissement des spécifications destinées aux ingénieurs constructeurs d'usines .....	18
Etudes de l'environnement .....	19
7. <i>Aspects économiques de la lutte contre la pollution</i> .....	22
<i>Publications et ouvrages cités</i> .....	23
<i>Tableau : Normes d'émission pour les usines d'acide nitrique</i> .....	2

## NOTES EXPLICATIVES

Sauf indication contraire, le terme "dollar" désigne le dollar des Etats-Unis.

Sauf indication contraire, le terme "tonne" désigne la tonne métrique.

Les chiffres entre parenthèses renvoient à la liste de publications et ouvrages cités.

Outre les abréviations, symboles et termes habituels, les sigles ci-dessous énumérés ont été utilisés dans cette publication :

DBO	demande biologique en oxygène
DCO	demande chimique en oxygène
EPA	(Environmental Protection Agency) Office pour la protection de l'environnement (Etats-Unis)
MEA	méthylamines
NPK	engrais azotés-phosphatés-potassiques
PDA	phosphate diammonique
PMA	phosphate monoammonique
ind.	indéterminé

La photographie qui illustre la couverture de cette publication représente une installation de lavage de fluorures utilisant des filtres cyclones pour éliminer ou réduire les vapeurs contenant des fluorures dans une usine de superphosphate triple de Floride (Etats-Unis d'Amérique).

Communiqué par l'American Cyanamid Company



## *Introduction*

La Déclaration de Lima, adoptée en 1975 par la deuxième Conférence générale de l'Organisation des Nations Unies pour le développement industriel (ONUDI), signale que la production industrielle des pays en voie de développement devrait être augmentée dans la deuxième Décennie des Nations Unies pour le développement. Les effets de cette croissance sur l'environnement dans des pays dont l'économie, essentiellement rurale, est basée sur une agriculture de subsistance ne peuvent pas être ignorés. L'industrie des engrais, qui permet d'augmenter le rendement de la production agricole de ces pays, doit veiller à sauvegarder l'environnement et à se comporter "en bon voisin".

Des erreurs graves ont été commises dans les pays développés et dans les pays en développement lors de la création d'usines d'engrais, erreurs qui ont entraîné la perte de vies humaines, la destruction de la végétation et l'anéantissement de la faune des eaux marines et des eaux douces. Afin d'éviter le retour de tels errements, cet ouvrage donne un bref aperçu des règles à suivre pour lutter contre la pollution dans l'industrie des engrais.

# 1. Effluents gazeux

Dans la plupart des procédés utilisés pour la fabrication des engrais, des effluents gazeux sont disséminés dans l'atmosphère. La source la plus importante de ces effluents est de loin la combustion des combustibles fossiles utilisés dans certains pays pour la fabrication de l'ammoniac. Les autres effluents sont notamment les oxydes de soufre, les oxydes d'azote et les composés de fluor pour le traitement et la récupération desquels les stimulants économiques et politiques sont insuffisants. La pollution de l'atmosphère qu'ils entraînent peut avoir des conséquences graves sur la santé des hommes et la vie des animaux et des plantes, mais il s'agit là d'un problème essentiellement local qui peut être résolu par l'industrie.

## Ammoniac

Toute émission d'ammoniac gazeux dans l'atmosphère par une usine a vraisemblablement pour cause soit une fuite due à une défaillance du matériel, soit un problème de fonctionnement. Les concentrations élevées d'ammoniac affectent les muqueuses du nez et de la gorge, et même la peau, en raison des propriétés alcalines de l'ammoniac. Le seuil de concentration pour la perception olfactive est de 18-35 mg/m<sup>3</sup>. Les gaz de sortie qui contiennent de l'ammoniac sont généralement lavés et les eaux résiduelles sont recyclées ou rejetées dans les égouts de l'usine. Cependant, l'ammoniac rejeté dans l'atmosphère peut former du brouillard enfumé (*smog*) s'il se combine aux effluents gazeux acides provenant d'autres unités de production d'engrais du même complexe.

## Oxydes d'azote

Les usines d'acide nitrique utilisant du nitrate d'ammonium ou faisant appel au procédé d'oxydation de l'ammoniac, ainsi que les usines d'engrais appliquant la méthode du nitrophosphate, rejettent dans l'atmosphère des oxydes d'azote. Les oxydes (NO<sub>x</sub>) répondent, pour la plupart, aux formules suivantes : NO, NO<sub>2</sub> ou N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, ce dernier étant le sous-produit instable de l'oxydation. Tant NO que NO<sub>2</sub> peuvent avoir des effets biologiques et phytotoxiques et produire du *smog* par réaction photochimique dans l'atmosphère.

Les effets toxiques des oxydes d'azote provoquent une irritation des voies respiratoires et peuvent, dans les cas bénins d'empoisonnement, être la cause de vomissements et de la réduction de l'aptitude de l'onde sanguine à transporter l'oxygène. Le seuil de tolérance aux oxydes d'azote (tels que le dioxyde d'azote) est la concentration de 9 mg/m<sup>3</sup>. A ce taux de concentration, une exposition de huit heures par jour pendant une semaine de travail de cinq jours peut être tolérée sans conséquences fâcheuses. Certains végétaux peuvent subir des dommages après une

exposition d'une heure à un taux de  $1 \text{ mg/m}^3$ ; la valeur exacte de ce seuil dépend, naturellement, de l'humidité, des espèces et d'autres conditions d'ambiance (1).

Le gaz de sortie des installations d'acide nitrique, consistant en NO et  $\text{NO}_2$  (calculé comme  $\text{NO}_2$ ), provoque la pollution des zones situées au voisinage des usines d'engrais. Les techniques conçues en vue de réduire plus ou moins les émissions gazeuses permettent d'observer les diverses normes d'émission proposées ou adoptées par plusieurs pays industriels. Dans quelques pays développés, les dispositifs de lutte antipollution comportent des immobilisations et des coûts de fonctionnement de plus en plus grands à mesure que les normes en vigueur deviennent plus contraignantes. Le tableau ci-après indique quelques normes d'émission pour les installations d'acide nitrique.

#### NORMES D'EMISSION POUR LES USINES D'ACIDE NITRIQUE

Pays	Taux d'émission	
	kg de $\text{NO}_2$ / tonne de produit (acide à 100%)	mg/m <sup>3</sup> de N
Etats-Unis d'Amérique	1,5	450
France	3,3	1 000
République fédérale d'Allemagne	ind.	1 000-1 600
République fédérale d'Allemagne (en été, panache incolore)		1 400-2 000
Royaume-Uni de Grande-Bretagne et d'Irlande du Nord (en $\text{NO}_x$ ) (panache incolore)	ind.	2 000

Source : *European Chemical News*, 30 avril 1976.

Dans les usines qui ne disposent d'aucun système de lutte contre la pollution atmosphérique, la concentration d'oxydes d'azote dans le gaz de sortie des installations produisant l'acide nitrique peut atteindre  $6 000 \text{ mg/m}^3$ . Des systèmes de lutte contre les fumées basés sur une grande variété de principes notamment catalyse et, récemment, des tamis moléculaires ont été installés dans de nombreuses usines pour réduire la concentration de  $\text{NO}_x$  dans le gaz de sortie. Dans quelques installations plus modernes, le rendement de l'absorption et de la conversion en acide nitrique a été amélioré dans de telles proportions que le traitement du gaz de sortie pour extraire  $\text{NO}_x$  n'est pas nécessaire.

#### Bioxyde de soufre

Le bioxyde ou le trioxyde de soufre est un effluent gazeux qui provient essentiellement des usines d'acide sulfurique "rattachées" ou "captives" associées à la fabrication d'acide phosphorique. Presque tous les complexes pour la production d'engrais phosphatés disposent d'une ou de plusieurs usines "captives" d'acide sulfurique. La plupart des usines modernes d'acide sulfurique appliquent le procédé par contact. Le soufre est brûlé et on fait passer les gaz sur un catalyseur. Les gaz chauds de trioxyde de soufre sont ensuite absorbés et concentrés dans des tours d'absorption pour donner un acide sulfurique ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) dont le taux de concentration est supérieur à 98 %. Les usines d'acide sulfurique, surtout depuis que l'on construit des installations plus importantes, ont causé - c'est un fait connu - des dégâts

considérables à la végétation dans les régions situées à proximité des installations de production et soulevé de sérieux problèmes de pollution qui ont provoqué des protestations de la part du public.

Les effluents en suspension dans l'air qui proviennent des tours d'absorption contiennent souvent des gouttelettes dont le diamètre va de 100  $\mu\text{m}$  à une valeur très inférieure à 1  $\mu\text{m}$  et dont l'extraction est difficile. Ces gouttelettes forment un brouillard même après passage dans les tours de séchage où l'acide sulfurique circule afin de réduire sa teneur en vapeur d'eau résiduelle, provoquant un niveau de brouillard de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  qui se situe au-dessus des niveaux acceptables à la sortie des tours (2).

Les tentatives pour réduire les effluents gazeux provenant des usines d'acide sulfurique et des installations "Claus" de récupération du soufre ont été récemment couronnées de succès; certains pays ont fixé des normes plus strictes. D'abord, des séparateurs à "grillage métallique" ont été installés dans les tours de séchage. Ensuite, on a utilisé des éliminateurs de brouillards à fibre et des éliminateurs Brink, à des vitesses des gaz basses (5-10 m/mn), pour éliminer toutes les particules dépassant 9  $\mu\text{m}$  et 99 % des particules de dimension inférieure. Des précipitateurs électrostatiques qui exigent d'importantes immobilisations, mais dont la consommation d'énergie est faible, ont également fourni un moyen efficace d'éliminer cette source de pollution. Pour réduire le bioxyde de soufre provenant des installations d'acide sulfurique, des systèmes doubles de conversion et d'absorption catalytiques ont été utilisés dans de nouvelles installations. Des systèmes de lavage sont aussi largement utilisés dans certains pays pour éliminer  $\text{SO}_2$  des gaz de sortie. Ces gaz peuvent être lavés avec une solution ou une suspension d'alcali (cendre de soude et chaux ou ammoniacale). Par exemple, le lavage avec une solution ammoniacale donne un sulfite-bisulfite d'ammonium. Cette solution, lorsqu'elle est acidulée avec de l'acide sulfurique, libère du  $\text{SO}_2$ , qui, à son tour, peut être recyclé au procédé à l'acide sulfurique, laissant le sulfate d'ammonium comme produit fertilisant commercialisable.

Une concentration de bioxyde de soufre supérieure à 27  $\text{mg}/\text{m}^3$  est, c'est bien connu, un puissant irritant, et la teneur limite de ce produit est considérée comme étant la moitié de cette valeur. Les concentrations de  $\text{SO}_2$  mesurées sur le *smog* urbain dépassent rarement 3  $\text{mg}/\text{m}^3$  de  $\text{SO}_2$  et sont associées aux fumées provenant des cheminées des centrales thermiques (1).

La vie des plantes, notamment de celles appartenant aux espèces les plus sensibles, peut être mise en danger par une seule exposition à une concentration de 0,4  $\text{mg}/\text{m}^3$ . Une exposition permanente peut affecter certaines plantes, même si les concentrations sont plus basses. L'Office américain pour la protection de l'environnement (EPA) a proposé les normes suivantes pour limiter la concentration de bioxyde de soufre dans l'air ambiant :

Bioxyde de soufre	Norme primaire <sup>a</sup> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Norme secondaire <sup>b</sup> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Moyenne arithmétique annuelle	80 (0,03 ppm)	
Maximum de concentration <sup>c</sup> par 24 heures	365 (0,14 ppm)	
Exposition maximale de 3 heures		1 300 (0,5 ppm)

Origine : EPA - 440/1-74-011a (amendé en 1976) (3).

<sup>a</sup> Norme primaire pour la protection de la santé publique.

<sup>b</sup> Norme secondaire pour la protection du bien-être de la population.

<sup>c</sup> Ne doit pas être dépassée plus d'une fois par an.

Des particules de bioxydes de soufre en suspension dans l'atmosphère émises par l'industrie ont parcouru, comme des observations l'ont démontré, des distances de 1 000 km et plus, dans certaines conditions météorologiques, avant d'atteindre le niveau du sol. Les normes d'émission pour les installations d'acide sulfurique sont maintenant les suivantes (4) :

Etats-Unis	2,0 kg de SO <sub>2</sub> /tonne de produit 0,075 kg de brouillard d'acide sulfurique/tonne de produit (10 % d'opacité)
République fédérale d'Allemagne	Rendement de transformation du SO <sub>2</sub> > 99,5 % 0,4 kg SO <sub>3</sub> /tonne de produit
Royaume-Uni	Rendement général 99,5 % Pas de brouillard d'acide sulfurique

### Fluorures gazeux

Dans la fabrication des engrais phosphatés, plusieurs fluorures sont rejetés dans l'atmosphère au cours du traitement des phosphates naturels. On estime que les fluorures gazeux sont parmi les plus dangereux des polluants.

Le phosphate naturel non calciné extrait en Amérique et en Afrique contient 4,5 % de fluor en poids. En traitant le minerai pour produire de l'acide phosphorique, de grandes quantités de fluorures sont libérées dans les réacteurs d'acidification et dans les installations de concentration de l'acide. Le fluor contenu dans les gaz provenant du système de réaction d'une installation de production d'acide phosphorique (voie humide) est surtout le tétrafluorure de silice (SiF<sub>4</sub>), car le fluor, qui est très réactif, se combine immédiatement avec la silice contenue dans la suspension de réaction.

Les fluorures provenant du réacteur (tétrafluorure de silicium) sont habituellement lavés à l'eau ou à l'acide fluosilicique dilué. Dans le premier cas, les fluorures rapidement hydrolysés se transforment en acide fluosilicique. On possède maintenant suffisamment de renseignements recueillis dans les installations classiques de production d'acide phosphorique pour établir un bilan du fluor en ce qui concerne les installations de production proprement dites. Certains modèles d'équipement de lavage par voie humide permettent de récupérer l'acide fluosilicique et de porter sa concentration jusqu'à 20 % et plus; ainsi concentré, il devient commercialisable et peut être utilisé pour produire de la cryolithe synthétique. D'autres produits tels que le fluorure d'aluminium et divers fluosilicates peuvent également être obtenus. S'il n'existe aucun marché pour ces sous-produits, les effluents du lavage doivent être neutralisés à la chaux, généralement en deux étapes, afin de permettre leur rejet dans les eaux du domaine public. Le chaulage multiétage s'est révélé coûteux.

Les fluorures contenus dans l'atmosphère sont plus dangereux pour la flore et la faune que pour l'homme. La flore est infiniment plus sensible que l'homme au fluor (F). Des concentrations de fluorures aussi minimes que 0,015-0,04 mg/m<sup>3</sup> auront des effets nuisibles sur les glaiéuls, sur certains conifères et sur les arbres fruitiers. Faute d'instruments de contrôle adéquats, il faudrait prévoir dans les zones industrielles des jardins témoins afin d'observer les effets de la pollution par les fluorures dans les sites de production et dans les environs immédiats.

Il est bien connu que les bovins sont affectés par des concentrations de fluorures dépassant 30 mg/m<sup>3</sup>. Ils peuvent aussi ingérer des fluorures en absorbant la poussière de phosphate qui se dépose sur les feuillages et le fourrage. Le système digestif des

bovins peut séparer le fluor des particules de phosphate, ce qui entraîne l'ostéosclérose.

Le premier signe de fluorose chronique chez l'homme est l'apparition de taches sur les dents et, plus tard, l'ossification des ligaments. L'exposition des travailleurs industriels aux fluorures a montré que les effets de ceux-ci sont accumulatifs. Il est habituellement conseillé d'analyser à intervalles réguliers l'urine des ouvriers d'usine. La plupart des usines sont en mesure de maintenir une atmosphère où la concentration des fluorures est inférieure à  $10 \text{ mg/m}^3$ . Dans certaines installations de cryolithe artificielle on a mesuré des concentrations allant jusqu'à  $20\text{-}40 \text{ mg/m}^3$ . On a calculé que le seuil de tolérance à l'exposition industrielle au fluorure d'hydrogène est de 5-6 mg par jour (Hodge et Smith, 1970). Pour ces calculs on a pris comme base le fluorure d'hydrogène ou d'autres fluorures sous forme gazeuse. La plupart des travailleurs d'usines absorbent également des fluorures avec l'eau de boisson et la nourriture qu'ils consomment. Pour fournir une marge raisonnable de sécurité, on a recommandé que l'ingestion ne dépasse pas 2 mg/jour (1).

### **Brouillards, vapeurs, fumées et poussières**

La pollution par les brouillards, les vapeurs et les fumées provenant des installations de production d'acide sulfurique a été examinée ci-dessus. Les usines d'engrais fabriquant des mélanges NPK, du phosphate monoammonique (PMA) ou du phosphate diammonique (PDA) à partir de phosphates naturels, d'acide phosphorique et/ou d'ammoniac, d'acide azotique et d'acide sulfurique sous forme de granulés, produisent des effluents gazeux qui contiennent des particules solides mélangées aux gaz de sortie de leurs réacteurs. Les tours de granulation pour les nitrates d'ammonium et pour l'urée ont été une cause de soucis croissants pour l'environnement au voisinage des usines.

Dans les usines qui fabriquent du superphosphate simple, du superphosphate triple, PMA, PDA et NPK, tous les équipements qui sont utilisés pour le traitement des matériaux solides, y compris les tamis, sont en principe dépoussiérés par de l'air induit. Si elles sont sèches, les poussières fines peuvent être collectées par un filtre de dépoussiérage et conduites dans des sacs filtrants qui éliminent 99 % des particules solides. Le contrôle des particules solides ou des poussières provenant des granulateurs, des séchoirs ou des refroidisseurs est plus difficile à réaliser, car l'humidité et la température du gaz et des particules qui y sont en suspension varient. Afin de réduire les effluents provenant de ces équipements, de puissants cyclones sont normalement installés pour éliminer la plupart des particules les plus grosses. Pour éviter la condensation des gaz humides lors de leur refroidissement, les cyclones doivent être isolés et, souvent, les équipements sont chauffés extérieurement afin de maintenir la température du gaz au-dessus du point de rosée. La plupart de ces particules solides sont récupérées et recyclées. Les bacs utilisés pour la manutention des matières premières, telles que le phosphate naturel ou la potasse, peuvent être équipés avec des sacs filtrants individuels afin de pouvoir renvoyer les matières premières purifiées à leurs propres bacs de stockage.

Pour une usine d'engrais NPK qui a son propre système de réaction, comme pour la plupart des usines de nitrophosphate, les fumées et les vapeurs qui se dégagent pendant le traitement sont habituellement lavées et concentrées afin de pouvoir les renvoyer, en suspension, à la "section humide" du système de réaction.

Les poussières, la fumée et les vapeurs provenant des installations de granulation ont posé un problème important au cours de ces dernières années. Le volume d'air ou

de gaz en jeu est généralement très important comparé à celui des gaz dégagés par les installations de production de nitrate d'ammonium ou d'urée. Récemment, après des recherches considérables et des essais en usine pilote, des systèmes efficaces de réduction des fumées et des vapeurs ont été mis au point (3, 4, 5).

Les émissions provenant des installations de nitrate d'ammonium ont pour origine trois sources principales : neutralisation, évaporation et tours de granulation. Les fumées et les vapeurs des deux premières sources sont en principe lavées à l'eau, car leur volume est relativement peu important. Leur concentration est augmentée en ajoutant les fines provenant des tamis de séparation. L'eau de purge de la solution de lavage recyclée est renvoyée au système. Quant aux particules provenant de la tour de granulation, elles ont, pour la plupart, un diamètre inférieur à un micron. Si la température de surface des granulés et la pression de dissociation de l'ammoniac et de l'acide nitrique sont connues, leurs respectifs taux de diffusion dans l'air peuvent être calculés afin de déterminer les quantités potentielles minimales de fumées et vapeurs qui se dégagent de la tour de granulation (normalement, 0,25 kg/tonne de nitrate d'ammonium granulé). Depuis quelque temps, la préférence est accordée de plus en plus à la technologie qui incorpore un dispositif de dépoussiérage monté en série avec un système de filtres Brink (5) qui permet de réduire le taux d'émission réel et, partant, de respecter les règlements pour les émissions de masse et l'opacité, aux termes desquels la valeur doit être inférieure à 0,5 kg/tonne.

Dans les installations de production d'urée, la source principale de pollution de l'air est la poussière d'urée en suspension dans l'air chaud provenant des tours de granulation, qui peut atteindre 400 000-500 000 m<sup>3</sup> de N par heure pour une usine d'urée dont la capacité de production est de 1 000 tonnes par jour. Avec des systèmes de dépoussiérage utilisant des filtres à eau on a réduit la concentration de poussières ayant 500-1 000 mg/m<sup>3</sup> de N, à la sortie de la tour, à 200-300 mg/m<sup>3</sup> de N. Ces dispositifs à filtre d'eau ou à réseaux disposés en chicanes sont facilement installés sur les tours de granulation à circulation d'air naturelle. En raison de la très petite dimension des particules d'urée (moins de 10 microns) les cyclones secs sont inefficaces. Des installations de dépoussiérage améliorées, mises au point récemment, réduisent le taux de poussières d'urée en suspension dans les gaz de sortie des tours de granulation à moins de 30 mg/m<sup>3</sup> de N ou 0,3 kg/tonne de produit (3).

Les réglementations en matière de rejet de particules dans l'atmosphère varient d'un pays développé à l'autre et même d'une région industrielle à l'autre. Dans la Ruhr (République fédérale d'Allemagne), 100 mg/m<sup>3</sup> de N provenant de cheminées de ventilation de 90 à 100 mètres de haut étaient, encore tout récemment, la limite maximum.

Dernièrement, plusieurs usines de nitrate d'ammonium et d'urée ont utilisé un procédé de granulation spécial (*granulation* en anglais) plutôt que la granulation ordinaire (*prilling*) pour améliorer surtout la taille et la résistance du produit, mais aussi le contrôle des fumées et des poussières et vapeurs. Les filtres à eau ou les sacs filtrants sont des moyens efficaces d'assurer le contrôle de la poussière (6).

Il est généralement admis que les installations anciennes rencontreront des difficultés dans l'application des nouveaux règlements. Cependant, on souligne que des autorisations de construire de nouvelles usines ne seront accordées que si les normes locales au point de vue performance et contrôle des effluents gazeux sont respectées. Il serait souhaitable que dans les pays en développement où des normes n'ont pas encore été édictées, les directives figurant dans cette publication soient appliquées lors de la construction de nouvelles usines d'engrais.

## 2. Effluents liquides

La plus grande partie des effluents sont gazeux plutôt qu'aqueux. Naturellement, si l'on adopte des systèmes de filtration à eau pour réduire la pollution de l'atmosphère, les contaminants éliminés des gaz restent et sont concentrés dans les solutions ou dans les liquides de lavage. Si ces contaminants ne sont pas concentrés et transformés en sous-produits commercialisables, leur élimination comme déchets liquides constitue un problème. Pour cette raison, chaque cas doit être examiné en fonction du contexte en tenant compte des aspects socio-économiques avant de choisir la meilleure méthode d'élimination d'un contaminant. La méthode la plus économique n'est pas nécessairement la meilleure, à long terme. Cependant, la méthode qui minimise le coût social total et maximise les avantages totaux est la meilleure, dans l'absolu.

### Engrais azotés et produits intermédiaires

#### *Ammoniac*

Les déchets liquides d'une usine d'ammoniac ont généralement pour origine la condensation d'un excès de vapeur provenant des réformeurs. Le condensat peut contenir de l'ammoniac provenant du gaz de purge recyclé et accroître, par conséquent, la  $DBO_5$  dans la nitrification.

Dans certaines installations des Etats-Unis d'Amérique, cet effluent est amené à un pH supérieur à 10 et puis rectifié à la vapeur dans une tour. Naturellement, cette méthode ne peut être appliquée que dans les zones où la pollution atmosphérique créée par les gaz de sortie est considérée comme ayant peu d'importance. Ce procédé consiste à rectifier les produits de condensation contenant de l'ammoniac avec de la vapeur afin d'éliminer l'ammoniac volatil et le bioxyde de carbone. L'eau rectifiée passe ensuite dans un échangeur d'ions où les ions métalliques plus lourds sont remplacés par des ions ammonium. L'eau ainsi purifiée peut être utilisée dans une chaudière. La rectification à la vapeur peut réduire la proportion d'ammoniac (en N) à un niveau nominal de  $20-25 \text{ g/m}^3$  (et peut-être même à  $10-15 \text{ g/m}^3$ ), mais des proportions d'azote d'environ  $40 \text{ g/m}^3$  sont plus fréquentes. Pour nettoyer les eaux de condensation, on a également utilisé des résines cationiques à pression élevée (5 bars) destinées à maintenir le bioxyde de carbone en solution. La résine peut être régénérée avec un acide afin de produire un sel d'ammonium qui rentre dans le cycle des opérations.

Dans les installations de production d'ammoniac où des méthylamines (MEA) sont utilisées pour extraire le bioxyde de carbone, les condensats contiennent généralement des impuretés organiques. Malgré cela, l'emploi de résines échangeuses d'ions a été étudié. Dans un essai, une résine d'échange cationique a été régénérée avec de l'acide sulfurique dilué et le sulfate d'ammonium ainsi formé a été recyclé.



La concentration de l'ammoniac rejeté comme effluent aqueux fait l'objet d'une sévère législation dans de nombreux pays. L'ammoniac en solution aqueuse et les MEA sont dangereux pour les poissons et peuvent provoquer la chute des écailles en détruisant les couches protectrices de mucus. Au Royaume-Uni de Grande-Bretagne et d'Irlande du Nord,  $10 \text{ g/m}^3$  d'azote ammoniacal est la norme parfois appliquée (2). Plusieurs administrations locales des Etats-Unis ont fixé des limites de  $1,5\text{-}2,5 \text{ g/m}^3$ . Les produits de condensation provenant des usines d'ammoniac utilisant des matières premières autres que le gaz naturel, le naphta ou le gaz associé à la production de pétrole contiendront vraisemblablement des substances organiques. Leurs effluents auront non seulement une demande chimique d'oxygène (DCO) mais aussi une demande biologique d'oxygène (DBO). Ces effluents doivent être recueillis et traités, en fonction de ces paramètres, dans une suspension activée ou par une autre méthode adéquate avant d'être rejetés dans les eaux réceptrices du domaine public. Pour extraire l'ammoniac dans les installations biologiques, il doit être d'abord oxydé et transformé en nitrate, puis dénitrifié (par addition d'alcool méthylique agissant comme source de carbone) et transformé en azote gazeux.

### *Urée*

Les effluents liquéfiés provenant de la fabrication de l'urée contiennent de l'ammoniac, du bioxyde de carbone, du carbonate d'ammonium et de l'urée. Ces déchets liquides sont produits lors de l'application du procédé de concentration d'une solution d'urée dans lequel une évaporation instantanée entraîne une réduction de la pression et donne un condensat. Dans certaines installations, des fuites dues à des joints de pompes défectueux provoquent des fuites d'eaux résiduares ammoniaquées qui se déversent dans les effluents.

Les principaux produits de décomposition de l'urée sont l'ammoniac et le bioxyde de carbone, qui peuvent être recyclés ou rejetés, après rectification, dans l'atmosphère. Selon les rapports de l'EPA, les effluents provenant des usines qui ne granulent pas l'urée peuvent contenir jusqu'à  $0,075 \text{ kg}$  (quantité journalière maximale) et  $0,0375 \text{ kg}$  (moyenne de 30 jours) d'azote organique par tonne d'urée produite (3).

Les concepteurs d'usines d'urée ont prévu un système de lavage par voie humide pour les tours de granulation qui utilisent une ventilation forcée. Si ce système permet, dit-on, de réduire jusqu'à  $6\text{-}12 \text{ mg/m}^3$  la concentration d'urée dans les gaz rejetés, il produit un déchet liquide qui doit être recyclé et concentré pour pouvoir récupérer l'urée. L'installation sous vide d'une usine dont la capacité de production journalière est de  $1\ 000$  tonnes produit de  $20$  à  $25 \text{ m}^3/\text{h}$  d'effluents liquides condensés qui contiennent de  $1\ 000$  à  $2\ 000 \text{ g/m}^3$  d'urée et jusqu'à  $50\ 000 \text{ g/m}^3$  d'ammoniac. Les problèmes écologiques créés par ces effluents permanents vont de la toxicité de l'ammoniac à l'eutrophisation des eaux dans lesquelles ils sont déversés, l'ammoniac et l'urée stimulant la croissance des algues. Le traitement préféré est l'hydrolyse suivie de distillation, d'où les condensats traités, ou les produits de fin d'opération, provenant de l'unité de distillation, sortent à un taux de  $50 \text{ mg/l}$  d'ammoniac et  $20 \text{ mg/l}$  d'urée, les concentrations rentrant dans le cycle des opérations (7).

### *Nitrate d'ammonium (et acide nitrique)*

Une usine de nitrate d'ammonium comprend normalement une installation de production d'acide nitrique. Les installations d'acide nitrique ne produisent pas en permanence d'effluents aqueux. Elles utilisent de grandes quantités d'eau de refroidissement pour leurs échangeurs de chaleur. La contamination due au rejet des eaux de refroidissement est étudiée dans une autre section. Les effluents de produits acides provenant des pompes, notamment, dont l'écoulement est intermittent, peuvent être collectés dans un puisard et neutralisés avant d'être rejetés.

La fabrication de nitrate d'ammonium comporte la neutralisation de l'acide nitrique par l'ammoniac. Ce procédé est normalement contrôlé par la mesure du pH, et la réaction est exothermique. Les vapeurs libérées de la solution de nitrate d'ammonium contiennent ce composé et de la vapeur d'eau, et, une fois condensées, constituent un effluent polluant. Les fumées et vapeurs sont normalement lavées à l'eau. La solution provenant du filtre est trop diluée pour que sa récupération soit économique; cependant, son taux de concentration peut être augmenté en ajoutant des fines calibrées et des poussières provenant de la section de granulation et renvoyées de temps en temps, par pompage, au neutralisateur. Elle peut aussi être recyclée et renvoyée, après passage dans un échangeur d'ions, à la tour de refroidissement.

### *Sulfate d'ammonium*

Le sulfate d'ammonium est obtenu par neutralisation de l'acide sulfurique avec de l'ammoniac. C'est une réaction exothermique dont les vapeurs, qui sont généralement lavées, contiennent, dans un système à un cycle unique, 10-100 mg/m<sup>3</sup> d'ammoniac qui peuvent être rejetés aux égouts (sauf aux Etats-Unis); cependant, les liquides de lavage peuvent être recyclés, afin d'en augmenter la concentration, et réinsérés dans le circuit de production. Comme conséquence de la demande pour des engrais azotés très concentrés, le marché du sulfate d'ammonium est devenu très défavorable dans les pays développés. Ce n'est pas le cas dans les pays en développement, surtout ceux qui pratiquent la culture du riz.

### **Engrais phosphatés**

Les engrais phosphatés commercialisés relèvent de deux catégories principales: ceux qui ne contiennent que des phosphates, et qui sont obtenus par le traitement du minerai pour en augmenter la concentration de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> soluble, tels que le superphosphate simple (16-22 % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), et ceux qui sont obtenus par action de l'acide phosphorique, tels que le superphosphate triple (40-49 % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). Pour la fabrication des premiers, une installation intégrée de production d'acide sulfurique est normalement nécessaire, tandis que pour les seconds il faut à la fois une usine d'acide sulfurique et une usine d'acide phosphorique, habituellement comme usine d'acide "captive". Les usines qui commercialisent des engrais phosphatés mélangés fabriquent diverses formulations de NP ou de NPK, notamment PMA, PDA et d'autres obtenus par ammoniation de l'acide phosphorique ou bien en utilisant une des voies du nitrophosphate, dans lesquelles le minerai est acidifié avec de l'acide nitrique, et l'ammoniac et/ou la potasse sont ajoutés ultérieurement dans les systèmes de réaction.

### *Acide phosphorique*

Pour une large part, l'acide phosphorique est fabriqué aujourd'hui dans des installations qui appliquent le procédé par voie humide, dans lequel on fait réagir le phosphate naturel sur de l'acide sulfurique dans le réacteur. La réaction étant exothermique, les procédés classiques font appel à un dispositif de refroidissement sous vide pour maintenir une température contrôlée de 80 °C. Ces dispositifs de refroidissement utilisent normalement un système de condenseurs barométriques qui produisent un effluent liquide contenant du  $P_2O_5$  et du fluor sous la forme d'acide fluosilicique. Les effluents qui contiennent du fluor et du  $P_2O_5$  proviennent également du système de lavage du réacteur, des pompes du filtre à vide qui sépare le gypse et du système de concentration de l'acide phosphorique ou d'évaporation. Dans la plupart des installations, ces effluents et le gypse en suspension sont rejetés dans une mare de laquelle on recycle les liqueurs acides clarifiées pour l'eau de refroidissement ou l'eau de lavage.

Les installations situées dans des zones industrielles ou dans des zones où le terrain est rare ne peuvent appliquer cette méthode d'évacuation des effluents et sont forcées de neutraliser les effluents avec de la chaux en deux étapes. Ceci s'applique également aux mares dont le trop-plein se déverse dans les eaux réceptrices du domaine public.

### *Acide sulfurique*

Les installations "captives" d'acide sulfurique utilisées pour la fabrication des engrais font partie de complexes dans lesquels on produit de l'acide phosphorique ou du sulfate d'ammonium. Les effluents aqueux provenant de l'installation de production d'acide sulfurique ont pour origine des fuites dans les pompes ou les colliers. Dans une installation de production d'acide sulfurique fonctionnant normalement et bien entretenue il ne devrait pas y avoir de rejet continu d'effluent acide, soit comme effluent proprement dit soit dans l'eau de refroidissement rejetée.

### *Superphosphates simple et triple*

Les effluents aqueux des usines de superphosphates simple et triple proviennent des dispositifs de lavage des gaz prévus pour les équipements de manutention des matières premières et les étuves de séchage. Les gaz rejetés contenant du tétrafluorure de silicium et de la poussière de phosphate sont lavés avec de l'eau ou avec des solutions d'acide fluosilicique. Si l'acide fluosilicique ne peut être commercialisé en raison de sa teneur relativement élevée en  $P_2O_5$ , qui pourrait le rendre impropre au traitement dans une usine de cryolithe synthétique, les effluents liquides seront traités avec de la chaux, qui donne du fluorure de calcium impur comme sous-produit. Au cours de l'opération d'hydrolisation du tétrafluorure de silicium ( $SiF_4$ ) qui le transforme en acide fluosilicique ( $H_2SiF_6$ ), de la silice ( $SiO_2$ ) est formée comme sous-produit. La silice se dépose généralement sur les équipements et leurs tuyauteries et peut colmater le système si celui-ci n'est pas entretenu régulièrement. Des solutions dont la concentration d'acide fluosilicique allait de 15 à 25 % ont été utilisées (3) dans les systèmes multiétage de lavage des gaz. Ces solutions sont ensuite vendues pour être utilisées à nouveau. Des systèmes de lavage des gaz utilisant des

cyclones, ou à lit flottant, ont été utilisés avec des chambres de séchage de superphosphate triple desquelles on extrait de grandes quantités de gaz contenant des concentrations relativement faibles de tétrafluorure de silicium. Dans l'industrie des engrais la préférence est accordée aux dispositifs de lavage à faible baisse de potentiel et dont les ventilateurs à air induit consomment peu d'énergie.

### ***Engrais composés et NPK***

Les effluents liquides des installations de production d'engrais sous forme granulaire et d'engrais NPK proviennent généralement des dispositifs de lavage. Dans les usines de nitrophosphate ayant des systèmes de réaction par voie humide dans lesquels le phosphate naturel, après avoir réagi sur de l'acide nitrique et de l'acide phosphorique, est neutralisé avec de l'ammoniac, les effluents aqueux et les liquides de lavage sont habituellement collectés dans des égouts situés dans le sol de l'usine et recyclés lentement dans le système afin de ne pas diluer les suspensions qui en résultent avant qu'elles ne soient granulées. Dans certaines usines, la poussière provenant des collecteurs cycloniques dans la section de granulation est ajoutée simultanément, ce qui a pour effet d'augmenter la concentration de solides dans les déchets liquides qui, autrement, auraient une trop faible concentration pour être économiquement récupérables.

### **Effluents provenant des chaudières et des tours de refroidissement**

Dans la plupart des complexes industriels il y a des effluents provenant des chaudières et des tours de refroidissement. Dans les usines d'engrais, le traitement de ces effluents s'effectue dans des installations qui ne sont pas directement rattachées aux opérations de production.

### ***Effluents aqueux provenant des chaudières***

Les chaudières doivent être nettoyées avant et pendant le fonctionnement. Des solutions acides et basiques et des détergents spéciaux sont utilisés comme produits de nettoyage et sont périodiquement rejetés comme déchets. Ces déchets sont acides et contiennent de l'acide chlorhydrique, de l'acide acétique, du borate de potassium, des inhibiteurs de corrosion contre les effets de l'ammoniac, des détergents et des phosphates. En outre, les chaudières doivent être constamment protégées contre les dépôts et la corrosion. Ces effluents ont un pH basique et contiennent du phosphate trisodique, du carbonate de sodium, de l'hydroxyde de sodium, du sulfite de sodium, du nitrate de sodium et des détergents. Les eaux de nettoyage rejetées à l'extérieur de l'usine proviennent des opérations de nettoyage des tubes et du bouilleur de la chaudière, opérations qui ne sont effectuées que rarement au cours d'une année, et généralement à des périodes imprévisibles. D'autre part, les eaux résiduelles provenant des purges des chaudières sont rejetées régulièrement, en général une ou plusieurs fois par jour. Les eaux de nettoyage acides et les eaux alcalines provenant des purges doivent être déversées dans des bassins de retenue, neutralisées et rejetées lentement, régulièrement et proportionnellement aux eaux de refroidissement, dont

le volume est plus important, et qui sont déversées en permanence dans les eaux réceptrices. Les dépôts calcaires et solides doivent être éliminés périodiquement des bassins de retenue.

#### *Eaux usées provenant des circuits de refroidissement*

De l'eau douce est généralement utilisée pour refroidir la vapeur s'échappant des turbines de la centrale électrique de l'usine. La nature et l'ampleur des problèmes concernant le rejet des eaux de refroidissement dépendent du site et de la nature des cours ou des plans d'eau dans lesquels les liquides peuvent être déversés.

Pour les centrales thermiques chauffées au charbon, 3 300 kcal environ doivent être dissipées par ces eaux de refroidissement pour chaque kWh d'électricité produit.

La température des eaux de refroidissement est souvent de 5 ° à 8 °C plus élevée que celle des eaux dans lesquelles elles sont déversées. Elles contiennent souvent de petites quantités résiduelles de chlorure destiné à limiter la croissance bactérielle dans les boues; des algicides, tels que le sulfate de cuivre, pour limiter la croissance des algues (utilisés surtout lorsque les eaux de refroidissement sont exposées à la lumière naturelle); et parfois des inhibiteurs de corrosion tels que le sulfate de chrome ou de sodium. Les remèdes que les usines d'engrais peuvent appliquer sont *a*) l'élimination du système à cycle unique pour le traitement des eaux provenant des tours de refroidissement et/ou le recyclage de ces eaux; *b*) l'utilisation de plans d'eau à aspersion ou de systèmes de diffusion de la chaleur (plans d'eau artificiels qui peuvent être utilisés pour les loisirs ou les canalisations de chauffage enterrées); et *c*) remplacement du chrome et/ou des autres métaux toxiques par d'autres inhibiteurs de corrosion.

### 3. Déchets solides

L'élimination sans risques des déchets ou des sous-produits solides provenant des usines d'engrais pose un problème, notamment dans les régions industrielles urbanisées. Le gypse est de loin le sous-produit le plus important de la fabrication de l'acide phosphorique par la voie humide.

#### Gypse

L'élimination sans risques ou la récupération du gypse secondaire, sous-produit de la fabrication de l'acide phosphorique par voie humide, est devenue une préoccupation majeure en raison de la construction d'installations plus importantes de production d'acide phosphorique au cours des dix dernières années. Pour chaque tonne de  $P_2O_5$ , on obtient 5 tonnes de gypse qu'il faut éliminer.

Dans les pays où le terrain est relativement bon marché, les agglomérats de gypse provenant des filtres sont additionnés d'eau et évacués sous forme de suspension vers un bassin de décantation ou un lagon. Ce bassin peut avoir plusieurs hectares de superficie et comporter des levées pour maintenir le gypse provenant de l'usine pendant une période de fonctionnement de cinq à sept ans. Les bassins de décantation destinés à récupérer le gypse reçoivent naturellement des suspensions acides provenant de l'usine. Le sulfate de calcium et les fluorures de calcium se déposent et finissent par remplir le bassin. Il faut veiller à éviter la contamination par infiltration des eaux souterraines. Dans les régions où les précipitations atmosphériques sont importantes et les pertes en évaporation relativement faibles, les eaux du bassin de stockage qui débordent doivent être neutralisées avec de la chaux afin d'éviter la contamination des eaux réceptrices.

Autrefois, les usines d'acide phosphorique implantées au bord de la mer déversaient directement dans la mer leurs suspensions contenant du gypse. Le gypse est soluble dans l'eau de mer et s'y dissout rapidement dans les régions où les courants de marée sont forts. Certaines installations implantées à l'intérieur des terres déversent leur gypse dans l'océan au moyen de barges ou de bateaux à fond ouvrant spécialement conçus à cet effet. Beaucoup d'usines mélangent préalablement l'eau de mer au gypse. Cent tonnes d'eau de mer environ par tonne de gypse sont nécessaires pour une dissolution rapide. Le gypse, qui est soluble également dans l'eau douce, peut être rejeté dans les cours d'eau si le débit en est suffisant.

La récupération du gypse pour la fabrication de ciment, de parpaings et de panneaux et celle de  $SO_2$  à partir du sulfate de calcium ont été entreprises dans plusieurs usines d'engrais installées dans des pays enclavés où le manque d'autres moyens d'élimination de ces produits justifiait économiquement ce procédé.

Lorsque la récupération du gypse est nécessaire,  $P_2O_5$  résiduel contenu dans les déchets de gypse doit être réduit dans la plupart des cas et, pour cette raison, l'acide phosphorique provenant du procédé au semi-hydrate est préféré même à celui que l'on obtient grâce au procédé à l'hydrate double, car son contenu résiduel de  $P_2O_5$

est en général plus bas. Plusieurs pays en développement souhaitent acquérir la technologie relative au procédé au semi-hydrate, et ceux qui doivent importer le soufre espèrent récupérer  $\text{SO}_2$  pour leurs usines d'acide sulfurique (3, 8, 9, 10).

C'est en fonction des conditions du marché pour les sous-produits récupérés que les procédés à adopter seront choisis.

## **Autres déchets solides**

### *Nitrate et carbonate de calcium*

Le nitrate de calcium est obtenu comme sous-produit du procédé ODDA, au nitrophosphate, après refroidissement des suspensions traitées pour augmenter la solubilité dans l'eau du produit NPK final. Le nitrate de calcium, présent dans ces suspensions sous forme de cristaux, est extrait par centrifugation, transformé en granulés, puis séché pour être vendu comme engrais à faible teneur en éléments fertilisants (15 % N, 27 % CaO) ou comme nitrate de calcium et d'ammoniaque (22 % N).

Dans certaines installations, le carbonate de calcium est obtenu en transformant le nitrate de calcium obtenu comme sous-produit dans le procédé ODDA par ammonisation et l'addition de bioxyde de carbone. Si ce carbonate n'est pas réutilisé dans la fabrication du nitrate de calcium et d'ammoniaque, il peut servir à neutraliser d'autres effluents de l'usine après avoir été séparé par filtration. Il peut aussi être commercialisé ou éliminé autrement (11).

### *Trioxyle d'arsenic*

Le trioxyle d'arsenic est obtenu dans le procédé Vetrocoke (carbonate de potassium) pour éliminer le bioxyde de carbone dans la fabrication de l'ammoniac. Ce déchet est produit en petite quantité et les boues contiennent 20 % de  $\text{As}_2\text{O}_3$ . Actuellement, ce déchet est parfois rejeté à la mer. Si les concentrations en sont élevées au point de rejet, il peut provoquer la mort des poissons.

### *Vanadium utilisé comme catalyseur*

L'élimination du vanadium utilisé comme catalyseur dans les installations de production d'acide sulfurique ne peut être passée sous silence en raison de la toxicité élevée des composés de ce métal. Une installation de production d'acide sulfurique d'une capacité de 1 500 tonnes par jour peut produire  $20 \text{ m}^3$  par an environ de vanadium, quantité qui est éliminée habituellement pendant la période de fermeture annuelle de l'usine, consacrée à l'entretien. Dans certains cas le catalyseur utilisé a été enterré dans des endroits où il ne peut contaminer les eaux souterraines.

## 4. Potasse

L'élimination des résidus liquides provenant des installations de production de la potasse est devenue récemment un problème préoccupant en raison de l'ouverture de nouvelles mines et de la création de nouvelles installations de traitement dans les pays développés.

Après broyage, tamisage et réduction en particules fines, le minerai de potasse est séparé des cristaux de sel et autres impuretés dans des bacs de flottation spécialement conçus à cet effet et où circule un agent de dispersion qui est une eau dont le taux de salinité est élevé. Le minerai à haute teneur en potasse, qui provient des dépôts de sylvinite, contient environ 50 % de potasse, le reste étant du sel et autres impuretés. La potasse que l'on trouve dans le commerce contient 60-61 % de  $K_2O$ .

Si on dispose d'eau de mer comme agent de dispersion, le sel contenu dans l'effluent peut avoir une concentration sept fois supérieure au sel contenu dans l'eau. Le principal problème pour l'élimination de ces effluents est de réaliser une dilution rapide afin d'abaisser la concentration en dessous de son niveau toxique. On a constaté que si la salinité de l'effluent dilué est ramenée à deux parties pour mille du niveau ambiant dans un rayon de 30 mètres à partir du point de rejet, la marée provoquant une dilution de cent à un, aucune augmentation ne peut être décelée d'un cycle de marées à l'autre (12).

Les installations de traitement implantées à l'intérieur des terres qui déversent les effluents dans les rivières posent encore des problèmes dans les pays développés; ces problèmes font en ce moment l'objet d'études de la part des services chargés de la réglementation.



## 5. *Tendances en matière de lutte et de législation antipollution*

### **Pays développés**

L'industrialisation rapide qui a marqué la période qui a suivi la Seconde Guerre mondiale a exigé un accroissement des contrôles et l'instauration d'une politique fondée sur la réglementation de l'industrie. Les impératifs économiques exigeaient l'accroissement des installations de production dont les effets sur l'environnement ont été souvent négligés par les planificateurs. Jusqu'à ce qu'une législation ait été appliquée dans les pays développés, le contrôle dans les usines d'engrais ne s'exerçait qu'à l'intérieur des installations. Il y eut des incidents qui entraînent la pollution atmosphérique dans de nombreuses régions industrielles. Des cours d'eau étaient devenus des "égouts à ciel ouvert" dans lesquels les effluents tuaient la faune et notamment les poissons.

Aux Etats-Unis, le gouvernement fédéral a créé l'Office pour la protection de l'environnement. Au Royaume-Uni, le corps des inspecteurs des alcalis a été renforcé afin d'être en mesure de faire respecter les règlements. Des services de surveillance analogues fonctionnent aujourd'hui dans la plupart des pays développés qui ont défini des normes de qualité pour l'air atmosphérique et les eaux. Une usine d'engrais implantée au bord d'une rivière ou au bord de la mer a les mêmes droits et les mêmes obligations que les autres riverains. Elle doit utiliser ses installations de telle manière que les riverains qui se trouvent en aval du cours d'eau ou ses voisins sur le littoral disposent d'une eau équivalente, en qualité et en quantité, à celle dont dispose l'usine. En application des règlements, les inspecteurs peuvent sanctionner les négligences et même fermer les usines afin d'éviter qu'elles ne dégradent l'environnement.

### **Pays en développement**

Les usines d'engrais seront probablement les premières installations industrielles de quelque importance qui seront créées dans les pays en développement, en raison de l'économie essentiellement agricole de ces pays et de la nature de leurs ressources. La plupart d'entre eux ne disposent d'aucune main-d'œuvre qualifiée pour assurer le fonctionnement des installations de production. Les planificateurs se soucient surtout de l'achèvement rapide des nouvelles installations, et le but de la formation du personnel est de faire démarrer la production aussi vite que possible. Les précautions pour réduire les risques que ces usines font courir à l'environnement du fait d'un fonctionnement défectueux des installations, c'est-à-dire respect des consignes de sécurité et bonne gestion, sont négligées. Ce n'est que par une discipline

stricte et un contrôle sévère, appliqués dès le début du fonctionnement de l'usine, que les incidents peuvent être évités.

Il y a une autre conséquence qui ne devrait pas être négligée par les responsables dans les pays en développement, car elle peut avoir de sérieux aspects sociologiques. Lorsqu'un pays développé crée une usine d'engrais, son emplacement n'est pas toujours proche des sources d'approvisionnement en matières premières ou des zones de commercialisation. Très souvent c'est la présence de personnel qualifié, d'un port ou d'un réseau de voies de communication, qui conditionne ce choix. Toutefois, la mobilité de la main-d'oeuvre est une condition sur laquelle on doit pouvoir normalement compter. Mais dans un pays en développement dont l'infrastructure est en expansion, il est très rare que l'on puisse compter sur la mobilité de la main-d'oeuvre. Dès qu'une usine est construite ou qu'une installation est mise en route, des villages ou des centres communautaires pour les travailleurs sont créés dans les environs immédiats. Le manque de moyens de transport ou leur coût impose cette solution. Par conséquent, le bien-être de la communauté et la protection de l'environnement incombent à l'entreprise industrielle qui fournit les moyens de subsistance au personnel chargé de son fonctionnement. Si, du fait de cette usine, l'environnement est dégradé par la pollution de l'air et les ressources en eau potable diminuent, il faut s'attendre à des difficultés incessantes avec la main-d'oeuvre, ce qui n'est certainement pas dans l'intérêt de la direction de l'usine ou de nature à favoriser des efforts productifs en vue d'assurer la viabilité du projet. L'application d'une réglementation concernant la protection de l'environnement permettra de prendre des mesures préventives qui seront à la fois un guide et une sauvegarde pour les employés et la direction de l'entreprise dans les années à venir.

### **Rôle de l'ONUDI**

Afin d'éviter les pièges dans lesquels sont tombés les pays développés et afin de guider les responsables des usines qui seront construites dans les pays en développement, l'ONUDI devra assister la direction des entreprises au stade de la planification. Une décision prise conjointement et à partir d'éléments de jugement rationnels par les pouvoirs publics, les investisseurs et les planificateurs chargés de l'installation d'une usine d'engrais en ce qui concerne le lieu de son implantation peut épargner bien des ennuis à tous les responsables de cette entreprise.

## 6. *Implantation d'usines dans des zones rurales "vierges" de pays en développement*

On a rarement tenu compte des facteurs écologiques dans le choix d'un lieu "vierge" pour l'implantation d'une usine d'engrais dans un pays en développement, ce qui a entraîné parfois la disparition de l'industrie de la pêche dans les ports ou la destruction des récoltes dans les régions agricoles où ces usines étaient implantées. Le lieu d'implantation d'une usine d'engrais est généralement choisi en raison de la proximité de sources de matières premières, c'est-à-dire de gaz naturel ou de phosphate naturel. Les engrais se présentent sous forme de produits en vrac et toutes les usines orientées vers l'exportation sont implantées dans un port ou au bord d'un fleuve navigable. Trop souvent, des considérations politiques ont pris le pas sur les considérations écologiques. Par exemple, l'administration d'un port souhaitait qu'une usine soit implantée dans la zone portuaire, alors que ce port n'avait été utilisé jusqu'alors que pour la pêche et le tourisme. Inutile de préciser que la pêche et le tourisme ont souffert de ce voisinage. Dans un autre exemple, on a essayé d'installer une usine de produits pharmaceutiques à proximité d'une usine d'engrais en construction alors que ces deux industries sont incompatibles même si les techniques les plus récentes d'élimination des fumées et des poussières sont appliquées dans l'usine d'engrais.

### **Guide pour l'établissement des spécifications destinées aux ingénieurs constructeurs d'usines**

Le choix des procédés de fabrication des engrais est important du point de vue écologique. Bien que la plupart des procédés susceptibles d'être appliqués dans les pays en développement soient classiques et largement connus dans les pays développés, bien des sociétés d'ingénierie négligent l'aspect écologique dans le choix du site lorsqu'il n'y a aucune réglementation. Pour éviter cela, ces sociétés devraient être obligées de formuler dans leurs propositions des précisions quant à la quantité et à la nature des effluents gazeux et liquides provenant de l'usine. Ces spécifications devraient indiquer notamment la température des eaux résiduelles de refroidissement, etc. Les seuils concernant l'élimination des effluents rejetés pourraient être précisés dans le cahier des charges afin que les ingénieurs puissent prévoir dans leurs soumissions des équipements de protection de l'environnement appropriés.

### ***Bilans matières***

Les entreprises d'ingénierie chargées de la construction d'une usine doivent fournir normalement dans leur proposition un diagramme des installations et un schéma des canalisations et des instruments de contrôle. Il est inhabituel de

mentionner les rejets et les effluents de l'usine dans un diagramme des flux à moins que cette précision ne soit demandée dans l'appel d'offres. Il serait vivement souhaitable qu'à l'avenir ce renseignement figure dans toute proposition afin de permettre de juger des effets des installations sur l'environnement.

### *Contrôle intégré des effluents gazeux et aqueux provenant de l'usine*

La création d'un système de contrôle des effluents est un facteur essentiel dans une installation de production d'engrais bien conçue. Des échantillons des effluents gazeux devraient être prélevés et analysés régulièrement, comme on fait pour les courants du procédé de fabrication, ou à des fins de contrôle routinier. Des échantillons des effluents aqueux devraient être prélevés en permanence à l'intérieur de l'usine et, dans la mesure du possible, des dispositifs enregistreurs devraient être installés. Dans toute usine, il y a des fuites dues à des erreurs ou au mauvais fonctionnement des équipements. Souvent, ces fuites représentent une perte considérable pour la production et présentent de graves dangers pour les eaux réceptrices et les peuplements humains environnants. A titre de précaution, des bassins-tampons peuvent être construits à l'intérieur du périmètre de l'usine pour neutraliser les effluents acides avant qu'ils ne soient déversés dans les eaux du domaine public. Il est évidemment plus difficile de contrôler les effluents atmosphériques. Si ces effluents sont plus dilués, notamment dans les régions où les mouvements de l'air sont importants, leurs effets au voisinage de l'usine peuvent être dangereux. L'installation de girouettes enregistreuses permet de déterminer la direction dans laquelle les effluents gazeux se propagent.

La construction de cheminées de ventilation suffisamment élevées facilitera la dispersion de ces effluents, et les usines devront en être dotées afin de protéger les environs immédiats de l'usine. La concentration maximale au sol d'un polluant peut être calculée, pour toute source ponctuelle de contamination, en appliquant le modèle de diffusion Bosanquet-Pearsons (13, 14). Cependant, en l'absence de données météorologiques précises, cette méthode empirique ne fournit qu'une approximation. En règle générale, les concentrations maximales au sol sont enregistrées sous le vent d'une cheminée de ventilation pour  $SO_2$  et des aérosols plus légers à une distance équivalant à dix fois sa hauteur. L'enregistrement des paramètres météorologiques tels que la pression et les précipitations atmosphériques sont utiles pour permettre de situer la responsabilité des dommages causés. Des collecteurs de poussières placés à des endroits judicieusement choisis autour des installations sont particulièrement utiles dans le cas d'usines d'engrais. Ils devraient être installés avant la construction de l'usine afin de mesurer le taux de poussière dans la région et d'évaluer l'influence de l'usine sur les variations de ce taux après sa mise en route et pendant une longue période de fonctionnement ininterrompu.

## **Etudes de l'environnement**

### *Avant les travaux de construction*

Dans les années 50, lorsque de nombreux pays développés découvraient de nouveaux débouchés pour leur industrie, des sociétés entreprenantes prirent des

précautions avant de mettre en route l'implantation d'usines dans des régions essentiellement agricoles. De nombreux facteurs influencèrent le choix du lieu d'implantation, mais un des facteurs déterminants fut l'environnement. Les contrôles et les contraintes réglementaires n'ont pas été considérés du point de vue quantitatif. Le principe fondamental du droit commun, c'est-à-dire les règles de bon voisinage, ont été la seule norme.

Des usines ont été implantées dans une région pour les raisons suivantes :

- Facilité de commercialisation de ses produits;
- Approvisionnement en matières premières à des prix avantageux;
- Présence d'une main-d'œuvre qualifiée suffisamment nombreuse;
- Bonnes voies de communication reliant la région à d'autres centres d'activité;
- Environnement agréable pour les employés et pour l'organisation d'activités collectives.

Depuis cette époque, l'agrément de l'environnement pour les employés de l'entreprise a pris de l'importance. Les eaux naturelles, douces ou salées, formaient des sites naturels d'élection pour y implanter les premières usines. Ces eaux devaient être respectées comme un domaine public qui devait être partagé entre des communautés qui jouissaient de droits égaux de riverains avec les entreprises. Les besoins de l'industrie ont été facilement définis par les planificateurs à partir d'études de la région. Qu'il s'agisse de rivières ou de mers, on a tenu compte des impératifs écologiques, et notamment de la protection de la faune (15). Des spécialistes – biologistes ou agronomes – ont été chargés d'étudier la région. Des comptages de plancton ont été effectués en amont et en aval du lieu d'implantation de l'usine afin d'étudier l'habitat naturel et les conditions ambiantes. Cette étude scientifique a permis d'établir les données de base et, dans certains cas, de préciser l'importance des facteurs existants de pollution qui pourraient éventuellement perturber l'environnement ou accroître le danger qu'entraînerait, pour la région, l'implantation d'une usine. Les enquêtes ont été normalement conduites par des instituts indépendants travaillant sous contrat. Elles ont fourni de nombreux renseignements à la direction de l'entreprise et ont donné confiance au public qui craignait ce voisinage malgré les possibilités d'emploi et les avantages financiers qu'on en attendait (16).

#### *Après un an de fonctionnement de l'entreprise*

Créer une usine dans une zone rurale "vierge" entraîne souvent des problèmes de mise en route. Lorsqu'on introduit de nouvelles techniques et lorsqu'on forme de la main-d'œuvre il faut s'attendre à bien des déboires. Encadrés par une direction compétente et soumis à une formation adéquate pendant une année, les travailleurs améliorent leur performance et l'usine fonctionne normalement.

Il est important pour la direction d'une société de mettre au point, à ce stade, un programme afin de déterminer les effets des installations, si tant est qu'il y en ait, sur l'environnement. Cette procédure doit être suivie même si aucune réglementation n'oblige la société à fournir des renseignements sur son fonctionnement.

Une étude de la faune aquatique doit être entreprise et la qualité de l'eau (plancton, pH, température, DBO<sub>5</sub>, DCO et oxygène dissous) doit être déterminée en amont et en aval d'une usine installée au bord de l'eau. La dispersion des effluents

aqueux, dont les eaux de refroidissement, doit être étudiée. Leur impact doit être mesuré quantitativement, non seulement dans les limites de l'usine, mais également dans les environs immédiats. Cette autodiscipline est essentielle pour l'entreprise industrielle même avant que toute réglementation assortie de sanction soit établie. Il appartient à la direction de l'entreprise (qu'elle soit implantée dans un pays développé ou dans un pays en développement) d'imposer, dès la création de l'usine, cette discipline qui exige que chaque employé soit formé et motivé si l'on veut que les directives soient observées.

Les effluents gazeux qui sont rejetés par une usine d'engrais doivent être également contrôlés. Des jardins situés dans des lieux bien choisis en fonction des vents dominants et la plantation des végétaux qui sont le plus sensibles aux polluants provenant de l'usine aideront à protéger les zones agricoles ou forestières situées au voisinage de l'usine. Des stations mobiles destinées à prélever des échantillons de l'air atmosphérique, équipées d'analyseurs de bioxyde de soufre et d'oxyde d'azote fonctionnant 24 heures sur 24 peuvent fournir des analyses quantitatives à cet effet. L'investissement est relativement peu élevé; les dépenses annuelles de fonctionnement équivalent à peu près aux frais d'équipement. Les avantages socio-économiques pour l'industrie et la communauté peuvent facilement justifier les dépenses, à long terme. A cet égard, on peut simplement s'en remettre à la bonne volonté générale sans avoir même besoin de déterminer le rapport coût/avantage.

## 7. *Aspects économiques de la lutte contre la pollution*

Il a toujours été difficile d'évaluer le coût de la protection de l'environnement dans les usines d'engrais. Lorsque l'on crée une telle usine, il est certainement plus économique de prévoir, dès le début, les équipements nécessaires à cette protection pour se conformer aux exigences et aux normes locales. Toute modification qui doit être effectuée dans une usine déjà installée coûtera plus cher et, dans certains cas, entraînera une diminution de la production. Ce n'est que dans le cas où un sous-produit peut être récupéré économiquement que l'on peut arriver à un rapport coût/bénéfice favorable. De l'avis général d'experts réunis à l'ONUDI (3), les considérations de rentabilité doivent être évaluées différemment selon le niveau de développement du pays. En supposant un certain degré d'uniformité dans les spécifications du matériel, on peut établir, pour les dix ou vingt prochaines années, une estimation approximative mais toutefois indicative des dépenses à prévoir à l'échelle mondiale, dans l'industrie des engrais, pour assurer la protection de l'environnement. Si l'on suppose un taux de croissance d'environ 9 % par an pour ce secteur, les dépenses mondiales totales pour la protection de l'air et de l'eau jusqu'en 1980 pourraient se situer entre 3 et 5 milliards de dollars.

Dans les pays développés, il est tout à fait normal de consacrer 15-18 % du capital total investi en matériel à l'installation de matériel antipollution, et environ le même pourcentage du coût de production au traitement des effluents dans les usines d'engrais phosphatés (6).

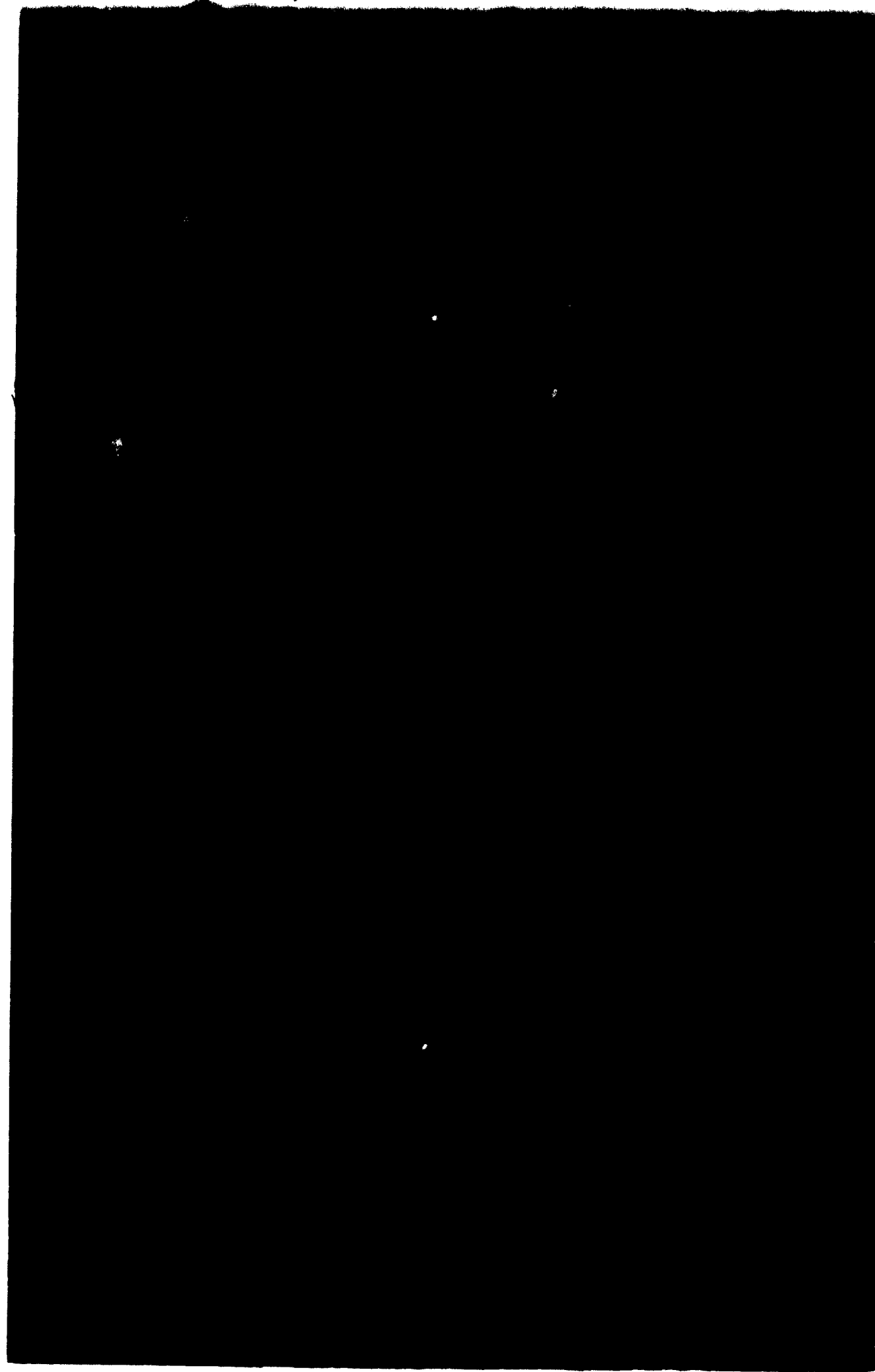
## *Publications et ouvrages cités*

1. L. Whalley, "The environment impact of gaseous emissions from the manufacture of fertilizers", Proceedings No. 156 (Londres, The Fertilizer Society, 29 avril 1976).
2. F. W. Bennett *et* B. C. Spall, "A review of effluent problems in fertilizer manufacture", Proceedings No. 156 (Londres, The Fertilizer Society, 29 avril 1976).
3. United Nations Industrial Development Organization, "Minimizing pollution from fertilizer plants", Report of an Expert Group Meeting, Helsinki, 26-31 août 1974 (ID/140).
4. *European Chemical News*, 30 avril 1976.
5. J. C. Stover, "Control of ammonium nitrate prill tower emission", La Nouvelle-Orléans, The Fertilizer Institute, Environmental Symposium, 15 janvier 1976.
6. *IFDC Technical Bulletin*, T-1, octobre 1975.
7. M. Lagna *et* M. Pascarella, "How Snam-Progetti has solved pollution problems from urea plants", Economic Commission for Europe Seminar on Technical Aspects of the Fertilizer Industry, Helsinki, août 1975 (CHEM/SEM/3/R.14).
8. B. Nevey, "Valorisation of phospho-gypsum", Technical Conference of the International Superphosphate Manufacturers Association, La Haye, septembre 1976 (TA/76/3).
9. M. Allen, "Conversion of byproduct gypsum to hemihydrate by ICI process", *Phosphorus and Potassium*, vol. 42, No. 78, juillet/août 1975.
10. Rhône-Poulenc, Division chimie minérale, "Plaster blocks manufacturing and uses according to Rhone-Poulenc Processes", mars 1975 (brochure commerciale).
11. Kampka, "Nitro process for manufacture of compound fertilizer", Paper presented at the International Superphosphate Manufacturers Association Conference, Edimbourg, 14-16 septembre 1965.
12. L. Carter, "The effects of waste chemicals from manufacture of fertilizers on the marine environment", Proceedings No. 156 (Londres, The Fertilizer Society, 29 avril 1976).
13. W. F. Bosanquet Carey *et* E. M. Halton, "Dust deposition from chimney stacks", London Institute of Mechanical Engineers, 1950 (Proceedings, vol. 162, No. 3), p. 355-367.
14. M. D. Thomas, G. R. Hill *et* J. N. Abersold, "Dispersion of gases from tall stacks", *Industrial Engineering Chemistry*, vol. 41, No. 11 (novembre 1949).
15. Ruth Patrick, "Biological measure of stream condition", *Sewage and Industrial Waste*, vol. 22, No. 7 (juillet 1950).
16. L. L. Hedgepeth *et al.*, "Planning a waste survey", *Sewage and Industrial Waste*, vol. 30, No. 11 (janvier 1958).
17. H. R. L. Streight, "Air pollution control at a nylon intermediates plant", *Engineering Journal*, janvier 1958, p. 69-78.

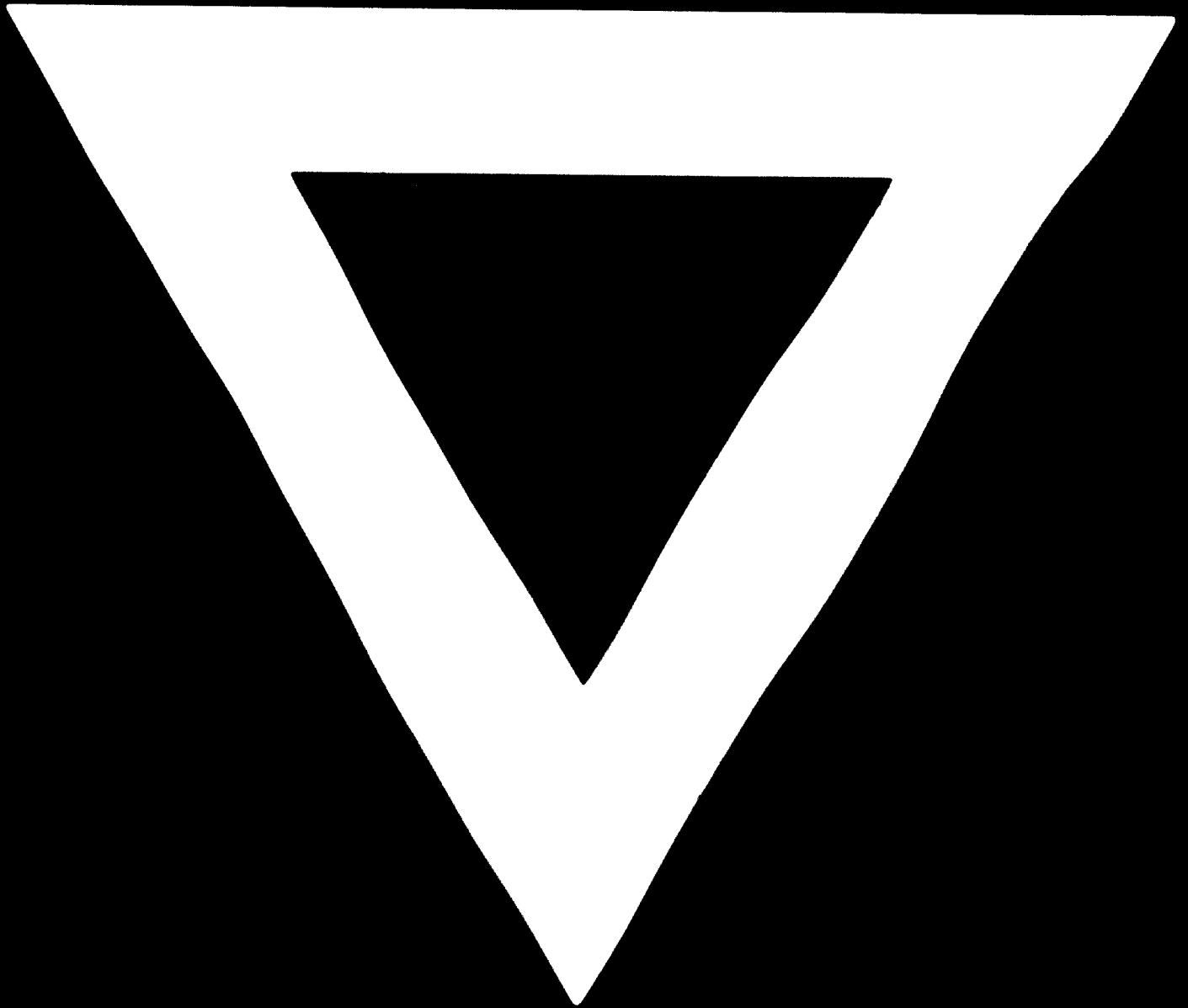


Etudes publiées antérieurement par l'ONUDI dans la série "Industrie des engrais"  
(UNIDO/ID/SER.F)

- N° 1 *Projets de fabrication d'engrais chimiques : élaboration, évaluation et réalisation*  
par C. J. Pratt, Mobil Chemical Company Ltd., New York.
- N° 2 *Guide pour la construction d'un complexe de fabrication d'engrais ammoniacaux*  
par J. A. Finneran et P. J. Masur, M. W. Killog Co., division of Pullman Incorporated,  
New York.
- N° 3 *Réduction des besoins en soufre dans la fabrication des engrais*  
par C. J. Pratt, Mobil Chemical Company Ltd., New York.
- N° 4 *Le procédé combiné de fabrication du chlorure d'ammonium et du carbonate de sodium  
au Japon*  
par Shozaburo Seki, Association japonaise des fabricants d'engrais au chlorure  
d'ammonium, Tokyo.
- N° 5 *Une technique nouvelle de production des engrais phosphatés : le procédé à l'acide  
chlorhydrique*  
par Y. Areten et R. Brush, Institut de recherche et de développement, Israel Mining  
Industries, Haifa.
- N° 6 *Projections de la demande et de l'offre d'engrais jusqu'en 1980 : Amérique du Sud,  
Mexique et Amérique centrale*  
par C. J. Pratt, Mobil Chemical Company Ltd., New York.
- N° 7 *Réduction des dépenses d'engrais*  
par C. H. Davis, Tennessee Valley Authority, Alabama.
- N° 8 *Installation de mélange et d'ensilage d'engrais*  
par J. Skaadel, Norsk Hydro AS, Porsgrunn (Norvège).



**G-23**



**79.11.21**