

Directives environnementales, sanitaires et sécuritaires pour la production de masse de composés inorganiques et la distillation du goudron

Introduction

Les Directives environnementales, sanitaires et sécuritaires (Directives EHS) sont des documents de références techniques qui présentent des exemples de bonnes pratiques internationales¹, de portée générale ou concernant une branche d'activité particulière. Lorsqu'un ou plusieurs États membres participent à un projet du Groupe de la Banque mondiale, les Directives EHS doivent être suivies conformément aux politiques et normes de ces pays. Les Directives EHS établies pour les différentes branches d'activité sont conçues pour être utilisées conjointement avec les **Directives EHS générales**, qui présentent des principes directeurs environnementaux, sanitaires et sécuritaires applicables dans tous les domaines. Les projets complexes peuvent exiger l'application de plusieurs directives couvrant des branches d'activité différentes. La liste complète de ces directives figure à l'adresse suivante : www.ifc.org/ifcext/sustainability.nsf/Content/EnvironmentalGuide_lines

Les Directives EHS indiquent les mesures et les niveaux de performances qui sont généralement considérés réalisables

¹ C'est-à-dire les pratiques que l'on peut raisonnablement attendre de professionnels qualifiés et chevronnés faisant preuve de compétence professionnelle, de diligence, de prudence et de prévoyance dans le cadre de la poursuite d'activités du même type dans des circonstances identiques ou similaires partout dans le monde. Les circonstances que des professionnels qualifiés et chevronnés peuvent rencontrer lorsqu'ils évaluent toute la gamme des techniques de prévention de la pollution et de dépollution applicables dans le cadre d'un projet peuvent inclure, sans toutefois s'y limiter, divers degrés de dégradation environnementale et de capacité d'assimilation de l'environnement ainsi que différents niveaux de faisabilité financière et technique.

dans de nouvelles installations avec les technologies existantes à un coût raisonnable. L'application des Directives EHS dans des installations existantes peut nécessiter la définition d'objectifs spécifiques et l'établissement d'un calendrier adapté pour atteindre ces objectifs. Le champ d'application des Directives EHS doit être fonction des aléas et des risques identifiés pour chaque projet sur la base des résultats d'une évaluation environnementale qui prend en compte des éléments spécifiques au projet, comme les conditions en vigueur dans le pays dans lequel le projet est réalisé, la capacité d'assimilation de l'environnement, et d'autres facteurs propres au projet. La mise en œuvre de recommandations techniques particulières doit être établie sur base de l'opinion professionnelle des personnes ayant les qualifications et l'expérience nécessaires. Si les seuils et normes stipulés dans les réglementations du pays d'accueil diffèrent de ceux indiqués dans les Directives EHS, les plus rigoureuses seront retenues pour les projets menés dans ce pays. Si des niveaux moins contraignants que ceux des Directives EHS peuvent être retenus pour des raisons particulières dans le contexte du projet, une justification détaillée pour chacune de ces alternatives doit être présentée dans le cadre de l'évaluation environnementale du site considéré. Cette justification devra montrer que les niveaux de performance proposés permettent de protéger la santé de la population humaine et l'environnement.

Champ d'application

Ces Directives EHS présentent les informations relatives aux projets et installations de fabrication de produits chimiques et concernent également la production de masse de composés

inorganiques : ammoniac, acides (acide nitrique, chlorhydrique, sulfurique, fluorhydrique, phosphorique), industrie du chlore et de la soude (chlore, soude caustique, carbonate de sodium, etc.), noir de carbone et produits de la distillation du goudron de houille (naphtalène, phénanthrène, anthracène). Ce document se compose des sections ci-après :

Section 1.0 – Description et gestion des impacts propres aux activités considérées
Section 2.0 – Indicateurs de performance et suivi des résultats
Section 3.0 – Bibliographie et sources d'information supplémentaires
Annexe A – Description générale des activités

1.0 Description et gestion des impacts propres aux activités considérées

Cette section résume les questions d'ordre environnemental, sanitaire et sécuritaire qui peuvent se poser aux cours de la phase d'exploitation des installations de production de masse de composés inorganiques et elle présente des recommandations sur la manière de les gérer.

Les recommandations relatives à la gestion des questions communes à la plupart des projets de grande envergure figurent dans les **Directives EHS générales**.

1.1 Environnement

Les problèmes environnementaux concernant la production de masse de composés inorganiques sont les suivants :

- Émissions atmosphériques
- Effluents liquides
- Déchets solides
- Gestion des matières dangereuses
- Bruit
- Odeurs
- Mise hors service des installations

Émissions atmosphériques

La fabrication et l'utilisation de produits chimiques (inorganiques ou autres) produisent un grand nombre d'émissions. Les technologies modernes permettent cependant des opérations en circuit fermé, réduisant ainsi de manière significative les rejets dans l'environnement.

Les sources d'émission liées aux procédés chimiques sont les gaz résiduels, les réchauffeurs et les chaudières, les vannes, brides, pompes et compresseurs, le stockage et le transfert des matières premières, des produits finis et des produits intermédiaires, le traitement des eaux usées, les torches et les dégazages d'urgence.

Bien que les émissions varient en fonction des procédés et des matières premières, les polluants les plus communs provenant de sources diffuses ou ponctuelles lors des opérations courantes sont les suivants : dioxyde de carbone (CO₂), oxydes d'azote (NO_x), oxydes de soufre (SO_x), ammoniac (NH₃), acides et brouillards acides, chlore gazeux et poussières. Des composés organiques volatils et des fumées de goudron sont émis lors de la production du noir de carbone et de la distillation du goudron de houille.

Il est possible de lutter contre ces émissions gazeuses par adsorption ou absorption. Les émissions de particules, en général inférieures à 10 microns de diamètre aérodynamique, sont contrôlées par des systèmes très efficaces : filtres à poche, précipitateurs électrostatiques, etc.

Les usines de production de produits chimiques sont de grandes consommatrices d'énergie. Les gaz d'échappement provenant de la combustion de carburants gazeux ou liquides dans les turbines, les chaudières, les compresseurs, les pompes et autres machines de production de chaleur et d'électricité sont une source importante d'émissions

atmosphériques, essentiellement de CO₂ et de NO_x. Les directives concernant les émissions produites par les opérations de combustion associées aux activités de cogénération de centrales ayant une puissance thermique nominale totale ne dépassant pas 50 MW figurent dans les **Directives EHS générales**. Les émissions des centrales électriques de plus grande taille sont présentées dans les **Directives EHS pour l'électricité thermique**.

Gaz à effet de serre (GES)

Les unités de production de masse de composés inorganiques émettent de grandes quantités de gaz à effet de serre, en particulier du dioxyde de carbone (CO₂). Les GES sont émis par les procédés eux-mêmes et lors de la production de l'énergie nécessaire à leur fonctionnement. Il convient d'adopter des mesures visant à améliorer les rendements énergétiques et d'installer des brûleurs à bas NO_x pour réduire la production de CO₂.

Toutes les mesures économiquement raisonnables doivent être prises pour optimiser l'efficacité énergétique et concevoir des installations utilisant le moins d'énergie possible. D'autres recommandations sur l'utilisation rationnelle de l'énergie figurent dans les **Directives EHS générales**.

Émissions fugitives

Les émissions fugitives sont dues à des fuites au niveau des tuyauteries, vannes, raccords, brides, joints, conduites ouvertes, réservoirs de stockage à toit flottant, joints de pompes, gazoducs, joints de compresseurs, soupapes de détente, réservoirs ou puits ouverts et opérations de chargement/déchargement de produits. En raison de la présence de produits dangereux lors de la production de masse de composés inorganiques (ex. NH₃ et chlore), les méthodes de contrôle et de prévention des émissions fugitives doivent être étudiées et mises en œuvre lors de phases de conception,

fonctionnement et maintenance. Le choix des soupapes, brides, accessoires, garnitures et joints d'étanchéité appropriés devra se faire en fonction de leur capacité à réduire les fuites de gaz et les émissions fugitives.

Il faut éviter d'avoir recours à des événements ouverts sur les toits des citernes en installant des soupapes d'échappement. Les stations de stockage et de déchargement doivent être équipées d'unités de récupération de vapeur. Les systèmes de traitement de la vapeur peuvent faire intervenir différentes méthodes, notamment l'adsorption sur carbone, la réfrigération, la récupération-recyclage et le brûlage.

Les mesures de réduction des émissions fugitives comprennent notamment :

- Des programmes de maintenance rigoureux, en particulier pour les presse-étoupe des queues de soupapes et les sièges des soupapes de détente, pour réduire ou éliminer les rejets accidentels ;
- Le choix des soupapes, brides, accessoires ;
- Des installations bien conçues, construites, exploitées et maintenues ;
- La mise en œuvre de programmes de détection et de réparation des fuites ;
- L'installation d'un suivi en continu dans toutes les zones sensibles.

Dégazage et torchage

Dans les usines de fabrication de produits chimiques, le torchage et le dégazage sont des mesures de sécurité importantes visant à assurer que les gaz sont éliminés en toute sécurité en cas d'urgence, de coupure d'électricité, de panne d'équipement ou autre situation de fonctionnement anormal des installations.

Les méthodes recommandées pour éviter, réduire au minimum et maîtriser les émissions atmosphériques dues au dégazage et au torchage sont les suivantes :

- Mettre en œuvre les bonnes pratiques et utiliser les nouvelles technologies pour réduire au minimum les rejets et les impacts du dégazage et du torchage (ex. nez de torche efficaces, systèmes fiables d'inflammation, réduction des débordements liquides, lutte contre les odeurs et les fumées visibles et implantation des torches à une distance offrant toutes les conditions de sécurité pour les hommes et l'environnement) ;
- Estimer les volumes de gaz torchés, développer des objectifs de torchage pour les nouvelles unités et enregistrer tous les volumes de gaz torchés ;
- Acheminer les émissions de gaz dus à des situations d'urgence ou à des pannes vers une torche efficace. Un rejet d'urgence peut se révéler nécessaire lorsqu'une situation particulière existe sur le site et qu'il n'est pas possible de brûler le courant de gaz, parce qu'il n'y a pas de dispositif de brûlage à la torche, parce que le courant de gaz ne contient pas suffisamment d'hydrocarbures pour permettre la combustion, ou parce que la pression du gaz n'est pas suffisante pour entrer dans le système de torchage. Si l'on choisit de ne pas installer de système de torchage du gaz dans des installations offshore, il convient de justifier pleinement cette décision, documents à l'appui, avant d'envisager l'adoption d'un dispositif d'urgence de rejet des gaz.

Émissions atmosphériques – Production d'ammoniac

Les émissions atmosphériques des usines de production d'ammoniac comprennent notamment de l'hydrogène (H₂), du dioxyde de carbone (CO₂), du monoxyde de carbone (CO) et de l'ammoniac (NH₃). Les émissions de dioxyde de carbone concentré sont dues aux opérations d'élimination du CO₂

produit, les émissions fugitives de NH₃ (ex. des réservoirs de stockage, vannes, brides et tuyaux) peuvent survenir lors du transport ou du transfert. Les émissions exceptionnelles associées aux défaillances ou aux accidents peuvent contenir les composants suivants : gaz naturel, CO, H₂, CO₂, composés organiques volatils (COV), oxydes d'azote (NO_x) et NH₃.

Les mesures recommandées pour prévenir ou lutter contre ce phénomène consistent notamment à :

- Traiter le gaz de purge de la synthèse du NH₃ pour récupérer le NH₃ et le H₂ avant la combustion dans le reformeur primaire ;
- Augmenter le temps de résidence des effluents gazeux dans la zone à haute température. ;
- Acheminer les émissions d'ammoniac des soupapes de détente ou des clapets de régulation de pression des cuves ou réservoirs vers une torche ou un épurateur à eau ;
- Associer les unités de production d'ammoniac et d'urée : les émissions de CO₂ dégagées lors de la production d'ammoniac sont réutilisées dans l'unité de production d'urée². Une autre possibilité consiste à associer la production d'ammoniac à la production de méthanol. NB : dans les unités de production de méthanol, l'hydrogène est produit à partir du gaz naturel, dans une unité de reformage. Ce procédé n'élimine pas entièrement les émissions de CO₂, en raison de la quantité d'énergie requise par la production d'hydrogène et la synthèse de méthanol.

Émissions atmosphériques – Production d'acide

Les émissions des unités de production d'acide sont les suivantes :

² Le CO₂ dégagé par la production d'ammoniac peut être presque totalement utilisé si l'ammoniac est transformée en urée (1 t NH₃ – 1,5 t urée).

- Production d'acide nitrique : protoxyde d'azote (N_2O) et NO_x , émissions dues en particulier aux gaz résiduels³ ;
- Production d'acide sulfurique : SO_2 résultant de l'oxydation incomplète, SO_3 résultant de l'absorption incomplète et gouttelettes d'acide sulfurique (H_2SO_4) ;
- Production d'acide phosphorique/fluorhydrique : fluorures gazeux et poussières ;
- Production d'acide chlorhydrique : acide chlorhydrique (HCl) gazeux, chlore et composés organiques chlorés présent dans les gaz sortant des systèmes de purification du HCl ;
- Production d'acide fluorhydrique : fluor, acide fluorhydrique (HF) et tétrafluorosilane (SiF_4) résultant de la digestion de la phosphorite et poussières due à la manutention de la phosphorite. Les particules en suspension sont émises lors de la manutention et du séchage du spath fluor. Dans les unités de production d'acide fluorhydrique, les émissions de fluor présentes dans les échappements sont faibles, dans la mesure où le traitement requis est appliqué.

Les mesures recommandées pour prévenir ou maîtriser les émissions consistent notamment à :

- Équiper les usines de pré-condenseurs, pour éliminer la vapeur d'eau et le brouillard d'acide sulfurique, et installer des condenseurs, des épurateurs à l'acide et des épurateurs à eau pour réduire au minimum les dégagements de HF , SiF_4 , SO_2 et CO_2 dans les gaz résiduels.
- Utiliser l'adsorption à haute pression lors de la production d'acide nitrique pour réduire au minimum la concentration de NO_x dans les gaz résiduels ;
- Traiter les effluents gazeux des unités de production d'acide nitrique par réduction catalytique des émissions de NO_x ;
- Envisager la double absorption pour les unités de production de H_2SO_4 . Les unités équipées d'une absorption simple doivent mettre en œuvre les mesures suivantes :
 - catalyseur au césium dans le dernier lit ;
 - élimination du SO_2 par épuration à l'aide d'un neutralisateur ;
 - élimination du SO_2 par traitement au peroxyde d'hydrogène (H_2O_2 , eau oxygénée).
- Diminuer les poussières dans les gaz brûlés des sécheurs à chauffage direct ou les gaz des transports pneumatiques en installant des cyclones et des filtres ;
- Récupérer le fluor sous forme d'acide fluosilicique. Utiliser une solution diluée d'acide fluosilicique comme liquide d'épuration. Le fluor, dégagé lors de la digestion de la phosphorite et de la concentration de l'acide phosphorique, doit être éliminé à l'aide d'épurateurs ;
- Lutter contre les émissions de HF en installant des condenseurs, des épurateurs et des absorbeurs dans les systèmes de récupération et de purification de l'acide fluorhydrique et de l'acide silicofluorhydrique ;
- Réduire au minimum les émissions de HF en maintenant une pression légèrement négative dans le four, en fonctionnement normal ;
- Si nécessaire, installer des épurateurs à la soude pour réduire les niveaux de polluants dans les gaz résiduels de HF ;
- Lutter contre les émissions de poussières en installant des filtres à poche dans les silos et fours de séchage du spath

³ Les plus bas niveaux d'émission de NO_x rencontrés dans les usines modernes sans dispositif complémentaire anti-pollution se situent entre 1000 et 2000 ppmv pour l'absorption sous pression moyenne et entre 100 et 200 ppmv pour l'absorption sous haute pression. Dans les nouvelles usines, en conditions normales de fonctionnement, les émissions de NO_x (à l'exclusion du N_2O) peuvent se situer à 100 ppmv, équivalent à 0,65 kg NO_x (exprimé en NO_2) par tonne d'acide nitrique à 100 % produit.

fluor. Dans les unités de production de HF, collecter les poussières des effluents gazeux à la sortie du four et renvoyer les poussières dans le four ;

- Lutter contre les émissions de poussières dues à la manutention et au stockage du spath fluor en posant des couvercles flexibles et à l'aide d'additifs chimiques ;
- Lutter contre les poussières de phosphorite lors de son transport, manutention et stockage, en utilisant des circuits fermés et de filtres à poche.

Émissions atmosphériques – usines de chlore et de soude

Les principaux procédés rencontrés dans l'industrie du chlore et de la soude sont l'électrolyse à mercure, l'électrolyse à diaphragme et l'électrolyse à membrane. Ces trois procédés représentent des sources importantes d'émissions fugitives et ponctuelles de chlore gazeux. Les sources d'émissions de chlore potentiellement significatives sont celles associées à l'absorption du chlore, où les émissions de gaz non condensables restant après la liquéfaction (H_2 , O_2 , N_2 , CO_2) ont une teneur en chlore de 1 à 8 % du chlore gazeux brut produit et traité. Les autres émissions liées à l'industrie du chlore et de la soude sont dues à la purification de la saumure. Les émissions atmosphériques de l'électrolyse au mercure comprennent des vapeurs de mercure qui sont les émissions fugitives dégagées par les cellules (ex. dans la ventilation des pièces).

Les principales émissions atmosphériques de la fabrication du carbonate de sodium sont le dioxyde de carbone et les particules émises par les calcinateurs de minerai, les refroidisseurs et sécheurs de carbonate de sodium, le broyage, tamisage et transport du minerai, la manutention et le transport du produit fini. Les émissions de produits de combustion (ex. monoxyde de carbone, oxydes d'azote et dioxyde de soufre) résultent des unités à chauffages direct : fours de calcination du minerai et sécheurs à carbonate de sodium. De l'ammoniac

peut également être émis. Dans les fours, l'oxydation de l'azote de l'air produit de petites quantités d'oxyde d'azote ; des oxydes de soufre sont produits par l'oxydation des composés soufrés du calcaire.

Les mesures recommandées pour prévenir ou lutter contre ce phénomène consistent notamment à :

- Dans la mesure du possible, arrêter l'électrolyse à cellules à mercure et à diaphragme et adopter de nouveaux procédés à membranes. Autrement, installer des matériaux améliorés pour les cellules (ex. anodes dimensionnellement stables (DSA®), diaphragmes modifiés) ;
- Calculer les bilans massiques en mercure pour déterminer l'utilisation de mercure ;
- Optimiser les procédés pour avoir des cellules aussi près l'une de l'autre que possible ;
- Installer des unités de distillation du mercure pour récupérer le mercure ;
- S'assurer que les compartiments destinés à recueillir le mercure et la soude caustique sont étanches, ce qui élimine les rejets diffus ;
- Installer une unité d'absorption du chlore conçue pour pouvoir absorber la production de toute la cellule d'électrolyse et éviter ainsi les émissions de chlore gazeux en cas de panne, en attendant la mise à l'arrêt de l'usine. L'unité d'absorption doit permettre d'abaisser la teneur en chlore du gaz émis à moins de 5 mg/m^3 dans le pire des cas ;
- Diriger tous les effluents gazeux contenant du chlore vers l'unité d'absorption qui doit être étanche ;
- Détecter immédiatement les fuites de chlore par l'installation de détecteurs de chlore gazeux dans les zones présentant un risque de fuites ;
- Recourir à des procédés de liquéfaction et de purification du chlore n'utilisant pas de tétrachlorure de carbone. L'utilisation de tétrachlorure de carbone (CCl_4) pour

éliminer le trichlorure d'azote (NCl_3) et absorber les gaz résiduels doit être évité ou arrêté ;

- Dans les unités produisant du carbonate de sodium, limiter les émissions de particules résultant de la manutention du minerai et du produit fini en installant des épurateurs venturiers, des filtres à poche, des précipitateurs électrostatiques ou des cyclones et recycler les particules collectées.

Émissions atmosphériques – Fabrication du noir de carbone

Les gaz résiduels sortant des réacteurs après la séparation du noir de carbone constituent une importante source d'émissions atmosphériques. Il s'agit de gaz à faible pouvoir calorifique ayant une teneur élevée en humidité, du fait de la vapeur d'eau de trempage. La composition des gaz résiduels peut varier considérablement en fonction de la qualité de noir de carbone produit et de la matière première utilisée. Ils peuvent contenir de l'hydrogène (H_2), des oxydes de carbone (CO , CO_2), des composés soufrés réduits (H_2S , CS_2 et COS), du dioxyde de soufre (SO_2), des composés azotés (N_2 , NO_x , HCN et NH_3), des COV (éthane et acétylène) et des particules de noir de carbone non éliminées par les filtres à poche.

Les mesures recommandées pour prévenir ou lutter contre ce phénomène consistent notamment à :

- Utiliser des matières premières dont la teneur en soufre varie entre 0,5 et 1,5 %⁴ ;
- Préchauffer l'air dans des échangeurs à chaleur utilisant les gaz chauds (contenant du noir de carbone) à la sortie du réacteur de noir de fourneau ;
- Installer et assurer la maintenance de filtres à poches à haute performance pour garantir une séparation efficace

⁴ Le niveau d'émission spécifique est de 10-50 kg de SO_x (sous forme de SO_2) par tonne de noir de carbone de qualité caoutchouc produite, en moyenne annuelle.

du noir de carbone et des pertes minimales de produit dans le gaz résiduel filtré ;

- Utiliser la teneur énergétique des gaz résiduels (en brûlant le gaz et utilisant l'énergie produite) ;
- Dans les unités de production d'énergie, appliquer des techniques primaires de réduction de NO_x dans les gaz brûlés issus de la combustion des gaz résiduels⁵ ;
- Installer des filtres en tissu pour les systèmes de transport pneumatique, les systèmes de collecte des échappements et le gaz de purge du sécheur⁶ ;
- La mise à l'atmosphère des gaz résiduels non brûlés ne doit se faire que dans les situations d'urgence, pendant les périodes de démarrage ou d'arrêt et lors des périodes de changement de qualité de produit.

Émissions atmosphériques – Distillation du goudron

La distillation du goudron produit des émissions en fonctionnement normal, celles qui nécessitent un contrôle sont : les fumées de goudron, les odeurs, les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et les particules en suspension. Elles sont produites lors de la livraison, du stockage, du chauffage, du mélange et du refroidissement du goudron.

Les mesures recommandées pour prévenir ou lutter contre ce phénomène consistent notamment à :

- Utiliser des pompes au sol et autres méthodes d'optimisation de la livraison du goudron pour réduire les fumées et odeurs ;
- Implanter les réservoirs de stockage sous le vent des récepteurs potentiels, contrôler la température des produits

⁵ Avec l'application des MTD, le niveau d'émission est de moins de 0,6 g NO_x/Nm^3 en moyenne horaire à 3 % O_2 , en fonctionnement normal.

⁶ Pour les transports pneumatiques et circuits de collecte des échappements à basse température, le niveau d'émission est de 10 à 30 mg/ Nm^3 en moyenne sur une demi-heure. Pour la purge du sécheur, le niveau d'émission est compris entre moins de 20 et 30 mg/ Nm^3 en moyenne sur une demi-heure.

stockés⁷ et mettre en œuvre des procédures de manutention évitant les odeurs ;

- Mettre en œuvre des méthodes de prévention du sur-remplissage pour les citernes : alarmes de niveau haut ou indicateurs volumétriques ;
- Utiliser des extractions d'air locales permettant de collecter et traiter les émissions de COV issues des réservoirs de mélanges et autres équipements.

Effluents liquides

Les effluents liquides sont : les eaux usées industrielles et les eaux de refroidissement, les eaux de ruissellement et les autres rejets spécifiques (ex. épreuve hydraulique et nettoyage, principalement lors du démarrage et des révisions⁸). Les eaux usées industrielles issues de la production de masse de composés inorganiques peuvent comporter des eaux de lavage acides produites lors du nettoyage et des purges, qui sont des opérations quotidiennes. D'autres sources potentielles d'effluents sont les épurateurs utilisés dans les systèmes de traitement des émissions atmosphériques. Les rejets accidentels ou les fuites des réservoirs de stockage (ex. ammoniac réfrigéré et acide) produisent également des eaux usées. Il faut également considérer les effluents acides ou alcalins issus du traitement de l'eau des chaudières de production de vapeur. Les recommandations relatives à la gestion des eaux de refroidissement et des eaux de ruissellement figurent dans les **Directives EHS générales**.

Les mesures de contrôle et les effluents spécifiques à chaque branche d'activité sont décrits dans ce qui suit.

Effluents – Production d'ammoniac

Les effluents, en fonctionnement normal, sont dus aux condensats ou à l'épuration de gaz résiduels contenant, entre autres, de l'ammoniac. Lors de l'oxydation partielle, une élimination de la suie et de la cendre mal gérée peut avoir un impact sur les eaux usées.

Les mesures recommandées pour prévenir, réduire au minimum et contrôler les effluents des unités de production d'ammoniac consistent notamment à :

- Récupérer l'ammoniac absorbé par les gaz de purge et la vapeur instantanée dans une boucle fermée, afin d'éviter les rejets d'ammoniac liquide ;
- Récupérer la suie de la gazéification lors de l'oxydation partielle pour la recycler dans le procédé.

Effluents – Production d'acide

Les effluents des unités de production d'acide nitrique peuvent être contaminés par des composés azotés. Les composés présents dans les effluents des unités de production d'acide chlorhydrique dépendent des procédés de fabrication : traces d'HCl lors de la réaction de l'hydrogène sur le chlore, sels minéraux (Na₂SO₄) lors de la réaction du chlorure de sodium avec l'acide sulfurique.

Les rejets liquides des unités de production d'acide phosphorique sont principalement les effluents issus de la condensation sous vide et de l'épuration des vapeurs produites aux différentes étapes du procédé. Les vapeurs acides condensées contiennent du fluor et de petites quantités d'acide phosphorique. Le fluor rejeté par le réacteur et les évaporateurs peut être récupéré comme sous-produit commercialisable (acide fluorosilicique à 20-25 %).

⁷ Le taux d'émission de fumées double pour une augmentation de la température d'environ 11 °C.

⁸ Les révisions sont en général limitées à une fois tous les 3 ou 4 ans et durent quelques semaines.

Les mesures recommandées pour prévenir, réduire au minimum et contrôler les effluents des unités de production d'acide consistent notamment à :

- Utiliser des réacteurs et évaporateurs en boucle fermée afin d'éliminer les eaux usées industrielles ;
- Recycler l'eau utilisée pour le transport du phosphogypse, après décantation ;
- Traiter les effluents des épurateurs avec de la chaux ou du calcaire ou utiliser de l'eau de mer pour précipiter le fluor sous forme de fluorure de calcium ;
- Installer un séparateur pour éliminer les gouttelettes d'acide phosphorique des refroidisseurs instantanés sous vide et des évaporateurs sous vide avant l'épuration, afin de réduire au minimum la contamination de l'effluent au pentoxyde de phosphore (P_2O_5) ;
- Dans les unités de production d'acide fluorhydrique, récupérer l'acide fluorosilicique (H_2SiF_6) produit par le traitement des gaz résiduels pour l'utiliser comme matière première ou pour la fabrication de fluorures ou silicofluorures. Le H_2SiF_6 peut être utilisé dans des réactions chimiques pour produire du CaF_2 et de la silice.

Effluents – Industrie du chlore et de la soude

La saumure est l'effluent principal de l'industrie du chlore et de la soude. Les cellules à membrane peuvent utiliser de la saumure recyclée après déchloration. Pour l'électrolyse à membrane, la purification de la saumure revêt une importance critique pour assurer la durée de vie et l'efficacité des membranes. Les principaux déchets dus à la purification de la saumure sont : les sulfates, les chlorures, les oxydants libres, le chlorate, le bromate et le tétrachlorure de carbone.

Les principaux effluents liquides de la production de carbonate de sodium sont les eaux usées issues de la distillation et de la purification de la saumure et les eaux de refroidissement. Les

effluents sont caractérisés par des niveaux élevés de solides en suspension⁹. Le rejet des métaux lourds présents dans les matières premières¹⁰ est également un sujet de préoccupation.

Les mesures recommandées pour prévenir, réduire au minimum et contrôler les effluents de l'industrie du chlore et de la soude consistent notamment à :

- Purifier la saumure par ajustement du pH, précipitation, floculation et filtration, afin de maintenir les impuretés à des niveaux admissibles. Les produits chimiques utilisés pour éliminer les impuretés de la saumure varient d'une usine à l'autre, en fonction des impuretés
- Recycler la saumure pour l'électrolyse à membrane, éliminer les impuretés sur des résines échangeuses d'ion. La régénération des résines nécessite de la soude caustique et un lavage à l'acide ;
- Réduire au minimum la consommation et le rejet d'acide sulfurique en effectuant une re-concentration sur site dans des évaporateurs en circuit fermé. L'acide usagé peut être utilisé pour ajuster le pH des eaux industrielles et des eaux usées, revendu à un utilisateur qui accepte cette qualité ou renvoyé à un fabricant d'acide sulfurique pour re-concentration ;
- Utiliser la réduction catalytique en lit fixe, la réduction chimique ou toute autre méthode permettant de réduire au minimum le rejet d'oxydants libres¹¹ ;
- Recourir à des procédés de liquéfaction et de purification du chlore n'utilisant pas de tétrachlorure de carbone ;
- Pour les électrolyses à membrane, maintenir des conditions acides dans l'anolyte (pH 1-2) pour réduire au

⁹ Les charges de solides en suspension rejetées avec les eaux usées sont importantes et varient de 90 à 700 kg/t de carbonate de sodium. La valeur moyenne est estimée à 240 kg/t de carbonate de sodium.

¹⁰ Pour une unité de production de carbonate de sodium de capacité environ 600 kt/an, il est possible d'atteindre 10 tonnes par an.

¹¹ Avec l'application des MTD, le niveau d'émission des oxydants libres dans l'eau est inférieur à 10 mg/l.

minimum la formation de chlorate (ClO_3^-) et de bromate (BrO_3^-) et éliminer le chlorate dans le circuit de la saumure, avant la purge¹².

Effluents – Fabrication du noir de carbone / Distillation du goudron

Les rejets dans les eaux ont une importance mineure pour l'industrie du noir de carbone et la distillation du goudron.

Il est possible d'avoir un rejet nul dans l'eau pour certaines unités de production de noir de carbone. Toutefois, la production de noir de carbone de qualité caoutchouc et de presque toutes les qualités pour spécialités nécessite une eau de trempe propre. Les solides en suspension (principalement du noir de carbone) doivent être filtrés avant rejet (ou réutilisation) à des niveaux inférieurs à 20 mg/l. Après filtration, les effluents générés par le procédé peuvent être réutilisés.

Les solides en suspension, la DBO et les concentrations en HAP dans les effluents issus des unités de distillation du goudron nécessitent un suivi.

Eaux pour essais hydrostatiques

Les essais hydrostatiques sur les équipements et tuyauteries nécessitent des volumes d'eau importants (ex. la capacité des réservoirs de NH_3 peut dépasser 20-30 000 m³). Des additifs chimiques peuvent être ajoutés à l'eau pour prévenir la corrosion interne.

Lors de la gestion des eaux utilisées pour les essais hydrostatiques, les mesures de prévention et de contrôle de la pollution comprennent notamment l'optimisation de la consommation d'eau et le choix et dosage judicieux des produits chimiques.

¹² Avec l'application des MTD, la concentration de chlorates dans le circuit de la saumure est comprise entre 1 et 5 g/l et la concentration de bromates associée est comprise entre 2 et 10 mg/l (la concentration de bromates dépend de la concentration de bromure dans le sel).

Si le rejet des eaux utilisées pour les essais hydrostatiques dans la mer ou les eaux de surface est la seule solution, il convient de préparer un plan d'élimination. Ce plan devra au minimum mentionner les caractéristiques du ou des points de rejet, les taux de rejets correspondants, l'utilisation et la dispersion des produits chimiques, les risques environnementaux et le suivi requis.

L'immersion dans les eaux côtières peu profondes est à éviter.

Déchets

Les unités de production de produits chimiques correctement gérées ne doivent pas produire de quantités importantes de déchets solides en fonctionnement normal. Les déchets produits sont : les huiles usagées, les catalyseurs usagés, les boues des unités de traitement des eaux usées, les poussières collectées par les filtres à poches, les mâchefers des chaudières, les gâteaux de filtration, etc.

Les mesures recommandées pour la gestion des catalyseurs usagés sont notamment les suivantes :

- Organiser une gestion sur site appropriée, notamment en immergeant les catalyseurs pyrophoriques usagés dans l'eau lors de leur stockage et transport temporaire, jusqu'à ce que tout risque de réaction exothermique incontrôlée soit évité ;
- Dans la mesure du possible, confier la gestion hors site à des sociétés spécialisées pouvant récupérer et recycler les métaux lourds (ou métaux précieux dans les catalyseurs des lignes de production d'acide nitrique).

Le stockage et la manutention des déchets dangereux et non dangereux doivent être conformes aux bonnes pratiques environnementales, sanitaires et sécuritaires décrites dans les

Directives EHS générales.

Déchets – Production d’ammoniac

Les lignes de production d’ammoniac ne doivent pas produire de quantités significatives de déchets solides¹³. La gestion des catalyseurs usagés et des tamis moléculaires doit être conforme aux règles précédentes.

Déchets – Production d’acide

Le phosphogypse est le sous-produit le plus important de la production d’acide phosphorique par voie humide¹⁴. Le phosphogypse contient une large gamme d’impuretés, dont certaines peuvent présenter un danger pour l’environnement et la santé publique^{15, 16}.

Le sulfate de calcium (anhydrite) est un sous-produit de la fabrication d’acide fluorhydrique (HF)¹⁷ et contient de 0,2 à 2,0 % de CaF₂ inaltéré et moins de 1,0 % de H₂SO₄ ainsi que la plupart des impuretés contenues dans le spath fluor à l’état de trace.

Les mesures recommandées de prévention, de réduction et de gestion des déchets solides dans les unités de production d’acide consistent notamment à :

- Éliminer le phosphogypse sur des sites conçus pour éviter le lessivage dans les nappes phréatiques ou les eaux de surface. Il convient de prendre toutes les dispositions pour réduire l’impact des rejets de phosphogypse et améliorer la

qualité du gypse pour qu’il puisse être réutilisé. Le rejet à la mer n’est pas admis ;

- Dans la mesure du possible, raffiner et vendre le sulfate de calcium (anhydrite) pour fabriquer d’autres produits (ex. ciment).

Déchets – Industrie du chlore et de la soude

Les déchets les plus importants de l’industrie du chlore et de la soude sont les boues de saumure. La quantité de boues est fonction des caractéristiques du sel en entrée et de la purification de la saumure. Les sels précipités sont éliminés par décantation/clarification et filtration. Les boues peuvent être éliminées de manière discontinue, par lavage dans une solution d’acide chlorhydrique faible. L’acide dissout le précipité et la solution obtenue, relativement inoffensive, peut être rejetée avec les effluents liquides. Les déchets sont produits lors de la purification secondaire de la saumure : matériaux usagés tels que pré-couches de filtres et substrats de cellulose. Les gâteaux de filtration résultant de l’adoucissement de la saumure consistent principalement en alpha cellulose contaminée par de l’hydroxyde de fer et de la silice¹⁸. Les résines échangeuses d’ion de la purification secondaire de la saumure sont rarement remplacées¹⁹. Les autres déchets sont les membranes et les joints usagés des cellules à membrane²⁰.

Les principaux déchets solides des unités de production du carbonate de sodium sont les fines de calcaire (30 – 300 kg/t de carbonate de sodium) et le sable non recyclé dans l’extincteur à chaux (10 – 120 kg/t de carbonate de sodium).

Les mesures recommandées de prévention, de réduction et de gestion des déchets solides dans l’industrie du chlore et de la soude consistent notamment à :

¹³ Les catalyseurs usagés et autres déchets solides doivent représenter moins de 0,2 kg par tonne de produit.

¹⁴ Environ 4 à 5 tonnes de phosphogypse (principalement du sulfate de calcium, CaSO₄) sont produites pour chaque tonne d’acide phosphorique produite.

¹⁵ Les impuretés contenues dans la phosphorite se retrouvent dans l’acide phosphorique et le sulfate de calcium (gypse). Le mercure, le plomb et les composés radioactifs se retrouvent dans le gypse ; l’arsenic et les autres métaux lourds (ex. cadmium) se retrouvent dans l’acide. La radioactivité de la phosphorite est principalement due aux radionucléides, comme l’uranium 238.

¹⁶ La radioactivité de la phosphorite, du phosphogypse et des autres produits d’une unité de fabrication d’acide phosphorique est plus faible que les valeurs données dans les règlements internationaux (ex. Directive 96/26/EURATOM du Conseil de l’Europe)

¹⁷ Environ 3,7 tonnes d’anhydrite par tonne de HF.

¹⁸ Les cellules à membrane produisent 600 g/t de boues provenant de l’adoucissement de la saumure.

¹⁹ Les résines sont régénérées une trentaine de fois par an.

²⁰ Les membranes ont une durée de vie comprise entre 2 et 4 ans.

- Essayer de réutiliser les déchets solides issus de la purification de la saumure. Si les déchets doivent être rejetés, envisager l'utilisation de sites naturels, comme les cavités salines ;
- Choisir un calcaire avec une forte teneur en CaCO_3 , des caractéristiques physiques appropriées et une faible teneur en métaux lourds et autres impuretés.

Déchets – Fabrication du noir de carbone / Distillation du goudron

L'industrie du noir de carbone ne produit que très peu de déchets dangereux (résidus huileux). Le brai est un résidu noir solide issu de la distillation du goudron de houille. La récupération des dérivés du goudron laisse des résidus huileux, notamment des naphtes lourds, de l'huile carbolique déphénolée, des huiles résiduelles de naphthalène, de l'huile d'absorption, de l'huile anthracénique et de l'huile lourde.

Les mesures recommandées de prévention, de réduction et de gestion des déchets solides consistent notamment à :

- Dans la mesure du possible, réutiliser les huiles usagées, les boues huileuses et les résidus de la distillation du goudron comme matière première ou carburant ;
- Recycler le noir de carbone ne répondant pas aux spécifications ;

Gestion des matières dangereuses

L'industrie chimique doit évaluer les risques associés à l'utilisation et à la manutention de matières dangereuses et mettre en œuvre des pratiques pour éviter et réduire ces risques. Comme mentionné dans les **Directives EHS générales**, l'application de ces pratiques doit être accompagnée de la documentation requise et figurer dans un plan de gestion des matières dangereuses²¹. L'objectif de ce plan est d'établir et

²¹ Cf. IFC : *Hazardous Waste Management Manual*.

de mettre en œuvre des actions préventives contre tout rejet accidentel de substances pouvant causer, sur des expositions à court terme, de sérieux dommages aux personnes et à l'environnement. En cas de rejets, le plan doit prévoir les mesures pour en atténuer la gravité.

Les pratiques de prévention et de lutte contre la pollution spécifiques à ce secteur industriel consistent notamment à :

- Éviter tout rejet accidentel grâce aux visites de contrôle et à la maintenance des systèmes de stockage et de convoyage, notamment au niveau des presse-étoupe des pompes et vannes et autres endroits susceptibles de présenter des fuites. Les déversements de produits dangereux (produits finis ou intermédiaires) doivent être maîtrisés et arrêtés dès que possible ;
- Implanter des enceintes de confinement secondaires des réservoirs de stockage de liquides (ammoniac liquide, acides, etc.) et les réserves de produits dangereux (ex. chlore) comme préconisé dans les **Directives EHS générales** ;
- Appliquer des pratiques de propreté : effectuer le transfert des produits sur des zones pavées et nettoyer immédiatement les petits déversements.

Bruit

Les sources principales de bruit dans l'industrie chimique sont les machines rotatives de grande taille (ex. compresseurs, turbines, pompes, moteurs électriques, refroidisseurs à air) et les appareils de chauffage équipés de brûleurs. Lors des dépressurisations en urgence, les niveaux élevés de bruit sont dus aux gaz sous haute pression envoyés aux torches ou au flux expulsé dans l'atmosphère.

Les méthodes de prévention et de réduction du bruit consistent notamment à :

- Optimiser l'implantation des usines en utilisant les bâtiments comme barrière antibruit et installer les sources de bruit aussi loin que possible des récepteurs existants ;
- Utiliser des équipements peu bruyants ;
- Installer des barrières acoustiques et des silencieux.

Les mesures de réduction et de contrôle du bruit sont similaires à celles préconisées pour la plupart des unités industrielles de grande taille et figurent dans les **Directives EHS générales**.

Odeurs

La production de masse de composés inorganiques peut produire des odeurs : rejets diffus de vapeur et traitement des eaux usées industrielles. Il convient de mettre en œuvre des contrôles adéquats pour éliminer les fuites et réduire au minimum les rejets diffus.

Démantèlement des installations

Les unités de fabrication de produits chimiques peuvent conserver, dans les circuits et réservoirs, des quantités importantes de matières dangereuses solides et liquides : solutions d'élimination du CO₂, ammoniac liquide, chlore, soude, acides, produits non conformes, catalyseurs usagés et mercure (électrolyseurs de l'industrie du chlore et de la soude).

Les pratiques recommandées pour le démantèlement des installations consistent notamment à :

- En présence d'électrolyse à mercure (industrie du chlore et de la soude), planifier soigneusement toutes les étapes du démantèlement pour réduire au minimum les rejets de mercure et autres substances dangereuses (notamment dioxines et furanes, en cas d'anodes en graphite). Assurer la protection de la santé et de la sécurité du personnel et prévoir l'élimination du mercure résiduel ;

- Dans les unités de production d'ammoniac, récupérer les solutions d'élimination du CO₂ et tous les produits dangereux pour les manipuler et les éliminer comme des déchets dangereux ;
- Dans les unités de production de NH₃ et HNO₃, éliminer les catalyseurs usagés pour les gérer comme préconisé dans le chapitre « Déchets » ;
- Récupérer le NH₃, le Cl₂, les acides et tous les autres produits des lignes de synthèses et des réservoirs de stockage ainsi que tous les produits finis et produits intermédiaires dans les réservoirs de stockage, comme préconisé par les recommandations relatives à la gestion des matières dangereuses des **Directives EHS générales**.

Les recommandations générales relatives à la mise hors service des installations et la réhabilitation des terrains contaminés figurent dans les **Directives EHS générales**.

1.2 Hygiène et sécurité au travail

Les problèmes d'hygiène et de sécurité au travail susceptibles de se poser au cours des phases de construction et de fermeture des installations de production de masse de composés inorganiques sont semblables à ceux rencontrés dans d'autres installations industrielles, et les mesures à prendre pour gérer ces problèmes sont décrites dans les **Directives EHS générales**. Les risques qui peuvent se poser dans le domaine de l'hygiène et de la sécurité au travail propres à l'installation doivent être identifiés dans le cadre d'une analyse de la sécurité au travail ou d'une évaluation globale des dangers et des risques effectuées par des méthodes éprouvées, par exemple une étude d'identification des risques [HAZID], une étude de risques et d'opérabilité [HAZOP], ou une évaluation quantitative des risques [QRA]. De manière générale, la planification des mesures de gestion de la santé et de la sécurité doit suivre une démarche systématique et structurée

visant à prévenir et à maîtriser les risques physiques, chimiques, biologique et radiologiques pour la santé et la sécurité, tels qu'ils sont décrits dans les **Directives EHS générales**.

En outre, les problèmes d'hygiène et de sécurité au travail propres à l'industrie chimique sont notamment liés à des :

- Risques chimiques dus aux expositions aiguës et chroniques aux gaz toxiques et autres composés dangereux ;
- Risques majeurs, notamment incendies et explosions.

Les risques majeurs doivent être gérés conformément aux réglementations internationales et aux bonnes pratiques (ex. Recommandations de l'OCDE²², Directive Seveso II²³ et programme de gestion des risques de l'Agence américaine de protection de l'environnement (US EPA)²⁴).

Risques chimiques

Ce secteur industriel est caractérisé par la présence de composés toxiques, notamment du chlore gazeux, de l'ammoniac, des acides, de la soude caustique, des amines et des composants du goudron de houille (ex. hydrocarbures mononucléaires et hydrocarbures aromatiques polycycliques, phénols et pyridine) qui peuvent être toxiques par ingestion, inhalation ou absorption cutanée. Le principal risque sanitaire posé par le goudron de houille et ses sous-produits est leur carcinogénicité due à l'exposition continue et à long terme de la peau à du brai solide pulvérisé.

Les mesures recommandées de prévention, de réduction et de contrôle des risques dus à l'exposition à ces substances toxiques consistent notamment à :

- Évaluer et réduire au minimum les concentrations de substances toxiques dans les zones de travail, en situation normale, comme en situation d'urgence. Mettre en place des protocoles de suivi rigoureux des lieux de travail, dans le cadre de la gestion globale des questions de santé et de sécurité au travail. Porter des vêtements de protection, notamment des lunettes et des gants en PVC, fournir des respirateurs adaptés et effectuer des contrôles médicaux réguliers pour tout le personnel, comme requis ;
- Dans la mesure du possible, installer des détecteurs de gaz dans les zones dangereuses (ex. des détecteurs de chlore dans les zones susceptibles de présenter des fuites) pour signaler et identifier immédiatement toute fuite ;
- Assurer une ventilation efficace dans les zones de manutention de produits à bas point d'ébullition ;
- Fournir et utiliser des crèmes protectrices contre les hydrocarbures aromatiques.

Risques majeurs

Les risques les plus graves pour la sécurité sont associés à la manutention et au stockage du NH₃ (volatil et toxique à fortes concentrations), du chlore (hautement toxique), de la soude caustique, des acides (nitrique, chlorhydrique, sulfurique, fluorhydrique, phosphorique), des composés organiques, des gaz combustibles (gaz naturel, CO et H₂), etc. Il en résulte des expositions aiguës pour le personnel et des expositions potentielles pour le voisinage, en fonction du nombre et du type de rejets accidentels et de la présence de conditions pouvant donner lieu à des réactions catastrophiques (incendies et explosions).

Les unités de production de masse de composés inorganiques produisent ou traitent de grandes quantités de gaz combustibles (gaz naturel, H₂, CO et autres produits chimiques). Le gaz de

²² Principes directeurs de l'OCDE pour la prévention et l'intervention en matière d'accidents chimiques, 2^e édition (2003).

²³ Directive 96/82/CE du Conseil dite Seveso II, complétée par la Directive 2003/105/CE.

²⁴ EPA, 40 CFR Partie 68, 1996 - *Chemical accident prevention provisions*.

synthèse (SynGas, composé de H₂ et CO²⁵) fabriqué dans les unités de production d'ammoniac peut déclencher des « feux propulsés » s'il s'enflamme à l'endroit où il est dégagé ou entraîner l'explosion d'un nuage de gaz, des boules de feu ou des incendies instantanés, en fonction de la quantité de matières inflammables présentes, du degré de confinement du nuage et de l'encombrement de la zone touchée par le nuage.

Les mesures permettant de réduire au minimum les risques d'incendie, d'explosion et autres risques majeurs sont les suivantes :

- Concevoir l'usine de manière à réduire la fréquence des transferts de produits et la probabilité de rejets accidentels, et faciliter la récupération des rejets accidentels ;
- Détecter au plus tôt les rejets ;
- Limiter les fuites en provenance des stocks : isoler l'installation des stocks importants, isoler et purger les réservoirs de gaz inflammables pressurisés. Séparer les zones de production, de stockage, les utilités et les zones sécurisées en respectant les distances de sécurité. Ces distances peuvent être calculées sur la base des analyses de sécurité spécifiques à l'usine, en prenant en compte la probabilité des dangers ou en appliquant les normes et règlements en vigueur (ex. API, NFPA) ;
- Supprimer les sources potentielles d'inflammation ;
- Supprimer ou diluer les rejets et limiter les zones touchées par la perte de confinement.

Les mesures de réduction de ces risques spécifiques à ce secteur industriel consistent notamment à :

- Réduire au minimum les stocks de chlore liquide et la longueur des tuyaux véhiculant du chlore liquide ;

²⁵ Les températures d'auto-inflammation de l'hydrogène et du monoxyde de carbone sont respectivement de 500°C et 609°C. Ainsi, dans certains endroits de l'unité de production du SynGas où la température du gaz est plus élevée, un échappement de gaz peut s'enflammer spontanément.

- Installer des réservoirs de stockage d'ammoniac (- 33°C, sous pression atmosphérique) à double paroi, avec une paroi externe en béton sur laquelle repose le toit du bâtiment. Il convient de respecter un écart entre la pression de service et celle d'échappement. Préférer les stockages réfrigérés pour les grandes quantités d'ammoniac liquide : dans ce cas, en présence d'une rupture de canalisation ou de réservoir, l'échappement d'ammoniac est plus lent qu'avec un stockage pressurisé ;
- Concevoir les réservoirs de stockage de chlore en fonction de l'analyse des probabilités de panne ou d'accident et de leurs conséquences et prendre en considération la possibilité de récupérer et manutentionner en toute sécurité les déversements. Envisager un stockage à basse température (- 34°C) pour les grands volumes et prévoir, pour les situations d'urgence, au moins un réservoir vide de capacité égale au plus grand réservoir de chlore.
- Compte tenu de leur nature hautement corrosive et toxique, porter une attention particulière à la manutention et au stockage des acides, notamment à la prévention des fuites ou déversements dans les effluents. Prévoir des enceintes de confinement secondaires, la séparation des canaux d'évacuation, un suivi en continu et des alarmes (ex. suivi automatique du pH) sur les enceintes à risque et les réseaux d'évacuation ;
- Éviter les équipements sous pression pour le déchargement de grandes quantités d'acide nitrique. Le matériau recommandé pour les réservoirs, cuves et accessoires est l'acier austénitique à basse teneur en carbone ;
- N'employer que du personnel ou des sous-traitants formés et accrédités pour les livraisons et le transfert de tous les produits chimiques, dont ceux utilisés pour l'élimination du CO₂ dans la production d'ammoniac.

1.3 Santé et sécurité de la population

Les impacts sur la santé et la sécurité de la population liées à la construction et à la mise hors service des unités de production de masse de composés inorganiques et de distillation du goudron sont semblables à ceux observés dans la majorité des branches d'activité et sont traités dans les **Directives EHS générales**. Ces impacts tiennent, entre autres, à la poussière, au bruit et aux vibrations générés par la circulation des véhicules de construction et aux maladies transmissibles liées à l'afflux temporaire de la main-d'œuvre nécessaire aux travaux de construction.

Les problèmes spécifiques à l'industrie chimique qui peuvent concerner la santé et la sécurité de la population sont les suivants :

- Manutention et stockage de matières dangereuses : matières premières, produits intermédiaires, produits finis et déchets près des zones d'habitation ;
- Transport de produits dangereux (ammoniac, chlore, acides, noir de carbone), avec possibilité de fuites accidentelles de gaz toxiques et inflammables ;
- Rejet de déchets solides (phosphogypse, boues).

Les installations devront être dotées de dispositifs de sécurité pour réduire et maîtriser les risques auxquels est exposée la population :

- Recenser tous les scénarios plausibles de fuite attribuables à un défaut de conception ;
- Évaluer les effets de fuites potentielles sur les zones avoisinantes, et en particulier les risques de pollution des nappes phréatiques et des sols ;
- Sélectionner un emplacement adapté en vue de la construction de l'usine, en tenant compte des zones d'habitation, des conditions météorologiques (direction des

vents dominants, entre autres) et des ressources en eau (vulnérabilité des nappes phréatiques, par exemple), et déterminer les distances de sécurité à respecter entre les installations industrielles et les zones d'habitation ;

- Définir les mesures de prévention et d'atténuation à prendre pour éliminer ou réduire au minimum les risques pour les populations locales.

Si les installations sont situées sur la rive d'une masse d'eau, le trafic maritime associé doit être pris en compte lors de l'évaluation : analyse des impacts de ce trafic sur les activités et trafic existants, et des impacts des fuites de liquides lors des déchargements ou transbordements. Il convient d'étudier des mesures visant à éviter les accidents et réduire au minimum les perturbations pour les autres activités marines. L'analyse des risques et la planification des mesures d'urgence doivent au minimum inclure un plan de gestion d'urgence élaboré avec les autorités locales et les communautés concernées. Les autres questions relatives à la santé et sécurité des communautés sont celles posées par la plupart des unités industrielles de grande taille et figurent dans les **Directives EHS générales**.

Les impacts sur la santé et la sécurité de la population liés au démantèlement des usines de production de masse de composés inorganiques et de distillation du goudron sont semblables à ceux observés dans la majorité des branches d'activité et sont traités dans les **Directives EHS générales**. Ces impacts sont, entre autres : la sécurité des transports, l'évacuation de déchets de démolition pouvant contenir des matières dangereuses et d'autres conséquences de l'état physique du site et de la présence de matières dangereuses une fois le site abandonné. Les recommandations pour la gestion de ces questions sont présentées à la section 1.2 de ce document et dans les sections « Planification, localisation et conception » et « Préparation et interventions en cas d'urgence » des **Directives EHS générales**.

2.0 Indicateurs de performance et suivi des résultats

2.1 Environnement

Directives pour les émissions et les effluents

Les tableaux 1 et 2 présentent les directives pour les émissions et les effluents dans cette branche d'activité. Les valeurs indiquées pour les émissions et les effluents industriels dans cette branche d'activité correspondent aux bonnes pratiques internationales dans ce domaine, telles qu'exprimées par les normes pertinentes des pays qui ont des cadres réglementaires reconnus. Les niveaux indiqués doivent être atteints, pour des effluents non dilués, pendant au moins 95% du temps pendant lequel l'usine ou l'unité fonctionne, calculé sur la base du nombre annuel d'heures d'exploitation. Tout écart par rapport à ces valeurs limites qui tiendrait à des conditions locales propres au projet considéré doit être justifié dans l'évaluation environnementale.

Les directives concernant les effluents s'appliquent au rejet direct des effluents traités dans les eaux de surface à des fins de consommation générale. Les niveaux de rejets propres à un site donné peuvent être établis lorsqu'il existe des systèmes de collecte et de traitement des eaux usées gérés par le secteur public, selon les conditions dans lesquelles ils sont utilisés, ou dans le cas de rejets directs dans les eaux de surface, selon la classification de l'utilisation des eaux réceptrices telle qu'elle est décrite dans les **Directives EHS générales**.

Les directives concernant les émissions s'appliquent aux émissions industrielles. Les directives concernant les émissions produites par les opérations de combustion associées aux activités de cogénération de centrales ayant une puissance installée ne dépassant pas 50 Mwth figurent dans les **Directives EHS générales** ; les émissions des centrales

électriques de plus grande taille sont présentées dans les Directives EHS pour l'électricité thermique. Des informations sur les conditions ambiantes basées sur la charge totale des émissions sont présentées dans les **Directives EHS générales**.

Tableau 1. Émissions atmosphériques		
Polluant	Unité	Valeur donnée dans les directives
Unités de production d'ammoniac		
NH ₃	mg/Nm ³	50
NOx	mg/Nm ³	300
Particules en suspension	mg/Nm ³	50
Unités de production d'acide nitrique		
NOx	mg/Nm ³	300
N ₂ O	mg/Nm ³	800
NH ₃	mg/Nm ³	10
Unités de production d'acide sulfurique		
SO ₂	mg/Nm ³	450 (2 kg/t acide)
SO ₃	mg/Nm ³	60 (0,075 kg/t acide)
H ₂ S	mg/Nm ³	5
NOx	mg/Nm ³	200
Unités de production d'acide phosphorique / fluorhydrique		
Fluorures (gazeux) sous forme HF	mg/Nm ³	5
Particules en suspension/CaF ₂	mg/Nm ³	50 (0,10 kg/t phosphorite)
Industrie du chlore et de la soude / Unités de production d'acide chlorhydrique		
Cl ₂	mg/Nm ³	1 (liquéfaction partielle) 3 (liquéfaction complète)
Hcl	Ppmv	20
Hg	mg/Nm ³	0,2 (émission moyenne annuelle de 1 g/t chlore)
Unités de production de carbonate de sodium		
NH ₃	mg/Nm ³	50
H ₂ S	mg/Nm ³	5
NOx	mg/Nm ³	200
Particules en suspension	mg/Nm ³	50
Unités de production de noir de carbone		
SO ₂	mg/Nm ³	850
NOx	mg/Nm ³	600
CO	mg/Nm ³	500
Particules en suspension	mg/Nm ³	30
COV	mg/Nm ³	50
Distillation du goudron		
Fumées de goudron	mg/Nm ³	10
COV	mg/Nm ³	50
Particules en suspension	mg/Nm ³	50

Tableau 2. Effluents

Polluant	Unité	Valeur donnée dans les directives
ph	ph	6-9
Hausse de température	C	3
Unités de production d'ammoniac		
NH ₃	mg/l	10 (0,1 kg/t) ¹
MES	mg/l	30
Unités de production d'acide nitrique		
NH ₃	mg/l	10
Nitrates	g/t	25
MES	mg/l	30
Unités de production d'acide sulfurique		
Phosphore	mg/l	5
Fluorure	mg/l	20
MES	mg/l	30
Unités de production d'acide phosphorique		
Phosphore	mg/l	5
Fluorure	mg/l	20
MES	mg/l	30
Unités de production d'acide fluorhydrique		
Fluorures	kg/tonne HF	1
Solides en suspension	kg/tonne HF	1
	mg/l	30
Industrie du chlore et de la soude / Unités de production d'acide chlorhydrique		
MES	mg/l	20 ²
Demande chimique en oxygène (DCO)	mg/l	150 ²
Dérivés organiques halogénés adsorbables (AOX)	mg/l	0,5 ²
Sulfures	mg/l	1
Chlore	mg/l	0,2 ²
Mercuré	--	0,05 mg/l 0,1 g/t chlore
Toxicité sur les œufs de poisson	T _F	2
Unités de production de carbonate de sodium		
Solides en suspension	kg/t	270
Phosphore	kg/t	0,2
MES	mg/l	30
Ammoniac (as N)	mg/l	10
Unités de production de noir de carbone		
Demande chimique en oxygène (DCO)	mg/l	100
Solides en suspension	mg/l	20
Distillation du goudron		
DBO5	mg/l	35 (moyenne mensuelle) 90 (moyenne journalière)
MES	mg/l	50 (moyenne mensuelle) 160 (moyenne journalière)
Anthracène, naphthalène et phénanthrène (chacun)	µg/l	20 (moyenne mensuelle) 60 (moyenne journalière)
Notes :		
1. Directive, sur la base de la charge : 0,1 kg/t de produit		
2. Électrolyseurs à diaphragme sans amiante		

Utilisation des ressources, consommation d'énergie, émissions et déchets

Les tableaux 3 et 4 présentent, à titre d'exemple, des indicateurs relatifs à la consommation d'énergie et à la production de déchets pour ce secteur. Les valeurs de référence utilisées dans l'industrie des pesticides sont indiquées uniquement à des fins de comparaison. Les projets industriels doivent s'efforcer d'améliorer systématiquement leurs performances dans ces domaines.

Suivi des impacts environnementaux

Des programmes de suivi des impacts environnementaux dans cette branche d'activité doivent être mis en place de manière à couvrir toutes les activités qui peuvent avoir des impacts environnementaux importants dans des conditions normales ou anormales d'exploitation. Les activités de suivi des impacts environnementaux doivent être basées sur des indicateurs directs ou indirects d'émissions, d'effluents, et d'utilisation des ressources applicables au projet considéré. Les activités de suivi doivent être suffisamment fréquentes pour fournir des données représentatives sur les paramètres considérés. Elles doivent être menées par des personnes ayant reçu la formation nécessaire à cet effet, suivant des procédures de suivi et de tenue des statistiques et utilisant des instruments bien calibrés et entretenus. Les données produites par les activités de suivi doivent être analysées et examinées à intervalles réguliers et comparées aux normes d'exploitation afin de permettre l'adoption de toute mesure corrective nécessaire. De plus amples informations sur les méthodes d'échantillonnage et d'analyse des émissions et des effluents applicables figurent dans les **Directives EHS générales**.

Table 3. Utilisation des ressources et consommation énergétique

Produit	Unité	Référentiel
Ammoniac	GJ pouvoir calorifique inférieur (PCI)/tonne NH ₃	28,8 à 31,5 ⁽¹⁾
Acide phosphorique	tonne phosphorite/tonne P ₂ O ₅	2,6-3,5 ⁽¹⁾
	kWh/tonne P ₂ O ₅	120-180 ⁽¹⁾
	m ³ eau de refroidissement / tonne P ₂ O ₅	100-150 ⁽¹⁾
Acide fluorhydrique	tonne CaF ₂ /tonne HF	2,1-2,2 ⁽⁴⁾
	tonne H ₂ SO ₄ /tonne HF	2,6-2,7 ⁽⁴⁾
	kWh/tonne HF	150-300 ⁽⁴⁾
Industrie du chlore et de la soude	kWh/tonne Cl ₂	3000 sans liquéfaction du Cl 3200 avec liquéfaction du Cl / évaporation ⁽³⁾
	tonne NaCl/tonne Cl ₂	1,750 ⁽³⁾
	g Hg/tonne de chlore (électrolyse à mercure)	0,2-0,5 ⁽³⁾
Unités de production de carbonate de sodium	GJ/tonne de carbonate de sodium	9,7-13,6 ⁽²⁾
	tonne de calcaire/tonne carbonate de sodium	1,09-1,82 ⁽²⁾
	tonne de NaCl/tonne carbonate de sodium	1,53-1,80 ⁽²⁾
	m ³ eau de refroidissement / tonne carbonate de sodium	50-100 ⁽²⁾
Unités de production de noir de carbone	KWh/tonne noir de carbone	430-550 ⁽²⁾
	GJ/tonne noir de carbone	1,55-2 ⁽²⁾
Notes :		
1. <i>European Fertilizer Manufacturers Association (EFMA). 2000.</i>		
2. <i>EU IPPC - Reference Document on Best Available Techniques in Large Volume Inorganic Chemicals - Solid and Others industry. Décembre 2006.</i>		
3. <i>EU IPPC - Reference Document on Best Available Techniques in the Chlor-Alkali Manufacturing industry. Décembre 2001.</i>		
4. <i>EU IPPC - Reference Document on Best Available Techniques in Large Volume Inorganic Chemicals – Ammonia, Acids and Fertilizers Industries. Octobre 2006.</i>		

Table 4. Émissions, effluents et déchets

Paramètre	Unité	Référentiel
Unités de production d'ammoniac		
CO ₂ dégagé par la transformation	tonne/tonne NH ₃	1,15-1,3 ⁽¹⁾
NO _x (processus de reformage avancé conventionnel et processus à reformage primaire réduit)	kg/tonne NH ₃	0,29 – 0,32
NO _x (reformage autothermique à échangeur de chaleur)	kg/tonne NH ₃	0,175
Unités de production d'acide nitrique		
N ₂ O	kg/tonne HNO ₃ à 100 %	0,15-0,6 ⁽⁴⁾
NO _x	ppmv	5-75 ⁽⁴⁾
Unités de production d'acide sulfurique		
SO ₂ (combustion du soufre, double contact/double absorption)	mg/Nm ³	30-350 ⁽¹⁾⁽⁴⁾
SO ₂ (simple contact/ simple absorption)	mg/Nm ³	100-450 ⁽⁴⁾
Unités de production d'acide phosphorique / fluorhydrique		
Fluorures	mg/Nm ³	0,6-5 ⁽⁴⁾
SO ₂	kg/tonne HF	0,001 – 0,01 ⁽⁴⁾
Déchets solides (phosphogypse)	tonne/tonne P ₂ O ₅	4-5 ⁽¹⁾
Anhydrite (CaSO ₄)	tonne/tonne HF	3,7 ⁽⁴⁾
Industrie du chlore et de la soude		
Cl ₂ (liquéfaction partielle)	mg/Nm ³	<1 ⁽³⁾
Cl ₂ (liquéfaction totale)	mg/Nm ³	<3 ⁽³⁾
Chlorates (circuit de saumure)	g/l	1-5 ⁽³⁾
Bromates (circuit de saumure)	mg/l	2-10 ⁽³⁾
Unités de production de carbonate de sodium		
CO ₂	kg/tonne carbonate de sodium	200-400 ⁽²⁾
Cl	kg/tonne carbonate de sodium	850-1100 ⁽²⁾
Ca	kg/tonne carbonate de sodium	340-400 ⁽²⁾
Na	kg/tonne carbonate de sodium	160-220 ⁽²⁾
Eaux usées/solides en suspension	m ³ /tonne/ tonne carbonate de sodium	8,5-10,7 / 0,09-024 ⁽²⁾

Unités de production de noir de carbone		
SO ₂	kg/tonne noir de carbone qualité caoutchouc	10-50 ⁽²⁾
NO _x	mg/Nm ³	<600 ⁽²⁾
COV	mg/Nm ³	<50 ⁽²⁾
Notes : 1. <i>European Fertilizer Manufacturers Association (EFMA). 2000.</i> 2. <i>EU IPPC - Reference Document on Best Available Techniques in Large Volume Inorganic Chemicals - Solid and Other Industries. Décembre 2006.</i> 3. <i>EC IPPC - Reference Document on Best Available Techniques in the Chlor-Alkali Manufacturing industry. Décembre 2001</i> 4. <i>EC IPPC - Reference Document on Best Available Techniques in Large Volume Inorganic Chemicals – Ammonia, Acids and Fertilizers Industries. Octobre 2006.</i>		

2.2 Hygiène et sécurité au travail

Directives sur l'hygiène et la sécurité au travail

Les résultats obtenus dans le domaine de l'hygiène et de la sécurité au travail doivent être évalués par référence à des directives relatives aux valeurs limites d'exposition professionnelle publiées à l'échelle internationale, comme les directives sur les valeurs limites d'exposition (TLV®) et les indices d'exposition à des agents biologiques (BEIs®) publiés par l'*American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH)*²⁶, *Pocket Guide to Chemical Hazards* publié par l'*United States National Institute for Occupational Health and Safety (NIOSH)*²⁷, les valeurs plafonds autorisés (PEL) publiées par l'*Occupational Safety and Health Administration of the United States (OSHA)*²⁸, les valeurs limites d'exposition professionnelle de caractère indicatif publiées par

les États membres de l'Union européenne²⁹, et autres sources similaires.

Fréquence des accidents mortels et non mortels

Il faut s'efforcer de ramener à zéro le nombre d'accidents du travail dont peuvent être victimes les travailleurs (employés et sous-traitants) dans le cadre d'un projet, en particulier les accidents qui peuvent entraîner des jours de travail perdus, des lésions d'une gravité plus ou moins grande, ou qui peuvent être mortels. Il est possible de comparer les chiffres enregistrés pour les installations des projets à ceux d'installations de pays développés opérant dans la même branche d'activité présentés dans des publications statistiques (par exemple *US Bureau of Labor Statistics* et *UK Health and Safety Executive*)³⁰.

Suivi de l'hygiène et de la sécurité au travail

Il est nécessaire d'assurer le suivi des risques professionnels posés par les conditions de travail dans le cadre du projet considéré. Ces activités doivent être conçues et poursuivies par des experts agréés³¹ dans le contexte d'un programme de suivi de l'hygiène et de la sécurité au travail. Les installations doivent par ailleurs tenir un registre des accidents du travail, des maladies, des événements dangereux et autres incidents. De plus amples informations sur les programmes de suivi de l'hygiène et de la sécurité au travail sont données dans les **Directives EHS générales**.

²⁶ Disponible à l'adresse <http://www.acgih.org/tiv/>

²⁷ Consulter : <http://www.cdc.gov/niosh/npg/>

²⁸ Consulter : http://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_table=STANDAR DS&p_id=9992

²⁹ Consulter : http://europe.osha.eu.int/good_practice/risks/ds/oel/

³⁰ Consulter : <http://www.bls.gov/iif/> and <http://www.hse.gov.uk/statistics/index.htm>

³¹ Les experts agréés peuvent être des hygiénistes industriels diplômés, des hygiénistes du travail diplômés, des professionnels de la sécurité brevetés ou tout titulaire de qualifications équivalentes.

3.0 Bibliographie

- Australian Government, Department of the Environment and Heritage. 2004. Emission Estimation Technique Manual for Inorganic Chemicals Manufacturing. Version 2.0. Canberra, Australie
- EFMA. 2000b. Best Available Techniques for Pollution Prevention and Control in the European Fertilizer Industry. "Production of Nitric Acid," Booklet No. 2. Bruxelles, Belgique
- EFMA. 2000c. Best Available Techniques for Pollution Prevention and Control in the European Fertilizer Industry. "Production of Sulphuric Acid," Booklet No. 3. Bruxelles, Belgique
- EFMA. 2000d. Best Available Techniques for Pollution Prevention and Control in the European Fertilizer Industry. "Production of Phosphoric Acid," Booklet No. 4. Bruxelles, Belgique
- EFMA. Association européenne des producteurs d'engrais (EFMA). 2000a. Best Available Techniques for Pollution Prevention and Control in the European Fertilizer Industry. "Production of Ammonia," Booklet No. 1. Bruxelles, Belgique
- EIPPCB. 2006a. Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Reference Document on Best Available Techniques in Large Volume Inorganic Chemicals - Solids and Others Industry. Octobre 2006. Séville, Espagne
- EIPPCB. 2006b. Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Reference Document on Best Available Techniques in Large Volume Inorganic Chemicals – Ammonia, Acids and Fertilisers. Décembre 2006. Séville, Espagne
- EIPPCB. European Integrated Pollution Prevention and Control Bureau (EIPPCB). 2001. Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Reference Document on Best Available Techniques in the Chlor-Alkali Manufacturing Industry. Décembre 2001. Séville, Espagne
- German Federal Government. 2002. First General Administrative Regulation Pertaining the Federal Immission Control Act (Technical Instructions on Air Quality Control – TA Luft). Berlin, Allemagne
- German Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety. 2004. Promulgation of the New Version of the Ordinance on Requirements for the Discharge of Waste Water into Waters (Waste Water Ordinance - AbwV) of 17. June 2004. Berlin, Allemagne
- Helsinki Commission. 2002. Helcom Recommendation 23/6. Reduction of Emissions and Discharges of Mercury from Chloralkali Industry. Helsinki, Finlande.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2006. Special Report, Carbon Dioxide Capture and Storage, Mars 2006. Genève, Suisse
- Kirk-Othmer, R.E. 2006. Encyclopedia of Chemical Technology. 5th Edition. John Wiley and Sons Ltd., New York, NY
- National Fire Protection Association (NFPA). 2000. Standard 850: Recommended Practice for Fire Protection for Electric Generating Plants and High Voltage Direct Current Converter Stations. 2000 Edition. Quincy, Massachusetts
- NFPA. 2004. Standard 120: Standard for Fire Prevention and Control in Coal Mines. 2004 Edition. Quincy, Massachusetts
- Paris Commission. 1990. Parcom Decision 90/3 of 14 June 1990 on Reducing Atmospheric Emissions from Existing Chlor-Alkali Plants. Paris, France
- Royaume-Uni Environmental Agency. 1999a. IPC Guidance Note Series 2 (S2) Chemical Industry Sector. S2 4.03: Inorganic Acids and Halogens. Bristol, Royaume-Uni
- Royaume-Uni Environmental Agency. 1999b. IPC Guidance Note Series 2 (S2) Chemical Industry Sector. S2 4.04: Inorganic Chemicals. Bristol, Royaume-Uni
- Royaume-Uni Environmental Agency. 2004a. Sector Guidance Note IPPC S4.03. Guidance for the Inorganic Chemicals Sector. Bristol, Royaume-Uni
- Royaume-Uni Environmental Agency. 2004b. Process Guidance Note 6/42 (04). Secretary of State's Guidance for Bitumen and Tar Processes. Bristol, Royaume-Uni
- US Environmental Protection Agency (EPA). Office of Compliance. 1995. Sector Notebook Project. Profile of the Inorganic Chemical Industry. Washington
- US EPA. 40 CFR Part 414. Subpart G—Bulk Organic Chemicals. Washington. Disponible à <http://www.gpoaccess.gov/cfr/index.html> (consulté en octobre 2006)
- US EPA. 40 CFR Part 414. Subpart I—Direct Discharge Point Sources That Use End-of-Pipe Biological Treatment. Washington. Disponible à <http://www.gpoaccess.gov/cfr/index.html> (consulté en octobre 2006)
- US EPA. 40 CFR Part 414. Subpart J—Direct Discharge Point Sources That Do Not Use End-of-Pipe Biological Treatment. Washington. Disponible à <http://www.gpoaccess.gov/cfr/index.html> (consulté en octobre 2006)
- US EPA. 40 CFR Part 415. Subpart F—Chlor-alkali Subcategory (Chlorine and Sodium or Potassium Hydroxide Production). Washington. Disponible à <http://www.gpoaccess.gov/cfr/index.html> (consulté en octobre 2006)
- US EPA. 40 CFR Part 415. Subpart H—Hydrofluoric Acid Production Subcategory. Washington. Disponible à <http://www.gpoaccess.gov/cfr/index.html> (consulté en octobre 2006)
- US EPA. 40 CFR Part 418. Subpart A—Phosphate Subcategory. Washington. Disponible à <http://www.gpoaccess.gov/cfr/index.html> (consulté en octobre 2006)
- US EPA. 40 CFR Part 418. Subpart B—Ammonia Subcategory. Washington. Disponible à <http://www.gpoaccess.gov/cfr/index.html> (consulté en octobre 2006)

US EPA. 40 CFR Part 418. Subpart E—Nitric Acid Subcategory. Washington. Disponible à <http://www.gpoaccess.gov/cfr/index.html> (consulté en octobre 2006)

US EPA. 40 CFR Part 422. Subpart D—Defluorinated Phosphate Rock Subcategory. Washington. Disponible à <http://www.gpoaccess.gov/cfr/index.html> (consulté en octobre 2006)

US EPA. 40 CFR Part 422. Subpart E—Defluorinated Phosphoric Acid Subcategory. Washington. Disponible à <http://www.gpoaccess.gov/cfr/index.html> (consulté en octobre 2006)

US EPA. 40 CFR Part 458. Subpart A—Carbon Black Furnace Process Subcategory. Washington. Disponible à <http://www.gpoaccess.gov/cfr/index.html> (consulté en octobre 2006)

US EPA. 40 CFR Part 60, Standards of Performance for New and Existing Stationary Sources: Subpart G—Standards of Performance for Nitric Acid Plants. Washington. Disponible à <http://www.gpoaccess.gov/cfr/index.html> (consulté en octobre 2006)

US EPA. 40 CFR Part 60, Standards of Performance for New and Existing Stationary Sources: Subpart H—Standards of Performance for Sulfuric Acid Plants. Washington. Disponible à <http://www.gpoaccess.gov/cfr/index.html> (consulté en octobre 2006)

US EPA. 40 CFR Part 60, Standards of Performance for New and Existing Stationary Sources: Subpart T—Standards of Performance for the Phosphate Fertilizer Industry: Wet-Process Phosphoric Acid Plants. Washington. Disponible à <http://www.gpoaccess.gov/cfr/index.html> (consulté en octobre 2006)

US EPA. 40 CFR Part 63, National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants for Source Categories: Subpart AA—National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants From Phosphoric Acid Manufacturing Plants. Washington. Disponible à <http://www.gpoaccess.gov/cfr/index.html> (consulté en octobre 2006)

US EPA. 40 CFR Part 63, National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants for Source Categories: Subpart IIIII—National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants: Mercury Emissions From Mercury Cell Chlor-Alkali Plants. Washington. Disponible à <http://www.gpoaccess.gov/cfr/index.html> (consulté en octobre 2006)

US EPA. 40 CFR Part 63, National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants for Source Categories: Subpart NNNNN—National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants: Hydrochloric Acid Production. Washington. Disponible à <http://www.gpoaccess.gov/cfr/index.html> (consulté en octobre 2006)

Annexe A – Description générale des activités

Ces Directives EHS relatives à la production de masse de composés inorganiques concernent la production d'ammoniac, l'industrie du chlore et de la soude (ex. chlore, soude caustique, carbonate de sodium, etc.), la production d'acides (acide nitrique, chlorhydrique, sulfurique, fluorhydrique, phosphorique), la production du noir de carbone et la distillation du goudron (naphtalène, phénanthrène, anthracène). Elles couvrent la production des principaux produits intermédiaires et produits finis destinés aux industries en aval : production d'engrais, de plastiques, etc. Ce secteur se caractérise par les volumes produits, pouvant atteindre le million de tonnes par an et la taille des unités de transformation.

Ammoniac³²

Environ 80 % de l'ammoniac produit (NH₃) sert d'engrais azoté, les 20 % restants entrant dans diverses applications industrielles : fabrication de plastiques, de fibres, d'explosifs, d'hydrazine, d'amines, d'amides, de nitriles et autres composés organiques azotés servant de produits intermédiaires pour la fabrication de colorants et de produits pharmaceutiques. Les produits inorganiques les plus importants fabriqués à partir d'ammoniac sont l'acide nitrique, l'urée et le cyanure de sodium. L'ammoniac liquide sert de solvant et de réfrigérant.

Les unités de production d'ammoniac peuvent être construites individuellement ou être intégrées à d'autres unités de production, en général d'urée. La tendance actuelle est de coupler la production d'ammoniac et de méthanol. La production d'hydrogène et/ou de monoxyde de carbone peut être intégrée aux unités de production d'ammoniac. Une usine d'ammoniac

produit environ 2 000 tonnes par jour, mais il existe des unités produisant plus de 3 400 tonnes par jour.

Le reformage du gaz naturel en présence de vapeur d'eau et d'air est la manière la plus simple et la plus efficace de synthétiser l'ammoniac gazeux. Cette méthode est la plus largement utilisée.

L'ammoniac est produit par une réaction exothermique entre l'hydrogène et l'azote. La réaction s'effectue en présence de catalyseurs (oxydes métalliques) et sous haute pression. Les catalyseurs peuvent contenir du cobalt, du molybdène, du nickel, du fer et de l'oxyde de fer, de chrome, de cuivre ou de zinc. L'ammoniac produit, sous forme liquide, est stocké dans des réservoirs de grande taille à pression atmosphérique à une température de -33 °C ou dans des sphères à des pressions pouvant atteindre 20 atmosphères, à température ambiante. La matière première est l'azote de l'air, il peut être utilisé tel quel sous forme d'air comprimé ou sous forme d'azote pur fourni par une usine de liquéfaction de l'air. L'hydrogène est fourni par de nombreuses sources : gaz naturel, pétrole brut, naphte ou effluents gazeux des fours à coke ou des raffineries.

La production d'ammoniac à partir du gaz naturel comprend les étapes suivantes : élimination des traces de soufre dans la matière première, reformage primaire et secondaire, conversion du monoxyde de carbone, élimination du dioxyde de carbone, méthanation, compression, synthèse de l'ammoniac et réfrigération du produit fini. Le carbone est éliminé sous forme de CO₂ concentré, utilisé de préférence pour la fabrication d'urée ou autre, pour réduire son rejet dans l'atmosphère.

Il existe deux autres procédés moins conventionnels : (1) ajout d'air supplémentaire lors du reformage secondaire et élimination

³² EIPPCB. 2006b. EFMA. 2000a

cryogénique de l'excès d'azote et (2) reformage autothermique à échangeur de chaleur. Le second procédé présente des avantages pour l'environnement, en raison des besoins réduits en chauffage du reformeur primaire et de la baisse de la consommation d'énergie qui en résulte. C'est une technologie récente et, à ce jour, utilisée pour une capacité d'environ 500 tonnes NH₃ par jour.

L'ammoniac liquide produit est utilisé, soit directement dans les unités de production en aval, soit transféré dans des réservoirs de stockage. L'ammoniac peut ensuite être expédié aux utilisateurs dans des camions-citernes, des wagons-citernes ou par bateaux. Il existe 3 méthodes de stockage de l'ammoniac :

- Stockage entièrement réfrigéré dans des réservoirs de grande taille, d'une capacité de 10 000 à 30 000 tonnes (jusqu'à 50 000 tonnes) ;
- Stockage dans des sphères ou cylindres pressurisés d'une capacité de 1 700 tonnes environ ;
- Réservoirs semi-réfrigérés ;

Les principaux types de stockage réfrigéré sont :

- Réservoir à simple intégrité : réservoir isolé à simple paroi, en général entouré d'une cuvette de rétention ;
- Réservoir à confinement double : réservoir à deux parois verticales conçues pour contenir le liquide et supporter sa pression hydrostatique. Le toit repose sur la paroi interne ;
- Réservoir à intégrité totale : réservoir fermé à double paroi, comme précédemment, mais le toit repose sur la paroi externe, avec un écart entre la pression de service et celle d'échappement.

Acide nitrique³³

Les étapes de production sont les suivantes : vaporisation de l'ammoniac liquide, mélange de la vapeur à l'air et combustion du mélange avec un catalyseur platine/rhodium, refroidissement du monoxyde d'azote (NO) résultant, oxydation du NO en dioxyde d'azote (NO₂), absorption du dioxyde d'azote dans l'eau, dans une colonne où il réagit pour former de l'acide nitrique. Les unités de grande capacité travaillent sous deux pressions (ex. combustion sous moyenne pression et absorption sous haute pression), les unités plus petites conduisent la combustion et l'absorption à la même pression. La haute pression dans la colonne d'absorption réduit les émissions d'oxydes d'azote (NO_x). La production de NO_x et de protoxyde d'azote (N₂O), un gaz à effet de serre, est significative. Néanmoins, les techniques de conversion catalytique permettent de réduire les émissions de plus de 80 %.

Le matériau recommandé pour les réservoirs, cuves et accessoires est l'acier austénitique à basse teneur en carbone. Le transfert vers les cuves de transport est exécuté par pompage ou par gravité. Le déchargement sous pression de grandes quantités doit être évité. L'acide nitrique est transporté dans des camions-citernes, des wagons-citernes et, plus rarement, par bateaux.

La capacité des unités modernes de production d'acide nitrique est d'environ 1 000 tonnes par jour.

Acide sulfurique³⁴

La fabrication d'engrais phosphatés est le principal utilisateur d'acide sulfurique (H₂SO₄). L'acide sulfurique est fabriqué à partir de dioxyde de soufre (SO₂) obtenu par combustion du

³³ EIPPCB. 2006b; EFMA. 2000b.

³⁴ EIPPCB. 2006b; EFMA. 2000c.

soufre élémentaire. Le soufre liquide s'obtient par désulfuration du gaz naturel ou traitement du gaz obtenu après la gazéification du charbon. Il est également possible de faire fondre du soufre solide à l'état naturel. Le dioxyde de soufre est aussi produit en métallurgie : la calcination et la fonte dégagent des effluents gazeux dont les concentrations en SO_2 sont suffisamment élevées pour permettre une transformation directe en H_2SO_4 . L'oxydation thermique des acides usagés est une autre voie d'obtention du SO_2 et du H_2SO_4 . Le procédé adopté de nos jours dans presque toutes les unités de production d'acide sulfurique consiste en une oxydation exothermique du dioxyde de soufre sur plusieurs lits d'un catalyseur approprié (pentoxyde de vanadium) pour produire du trioxyde de soufre (SO_3). Les unités modernes sont très efficaces en termes de conversion du dioxyde de soufre (plus de 99 %) et de récupération d'énergie.

L'acide sulfurique H_2SO_4 à une concentration supérieure ou égale à 98 % est obtenu par absorption du SO_3 dans l'eau. Dans le procédé par double contact, le SO_3 est absorbé par un absorbeur intermédiaire installé après le deuxième ou troisième lit de catalyseur où les gaz sont acheminés vers le dernier lit de catalyseur. Là, le SO_3 formé est absorbé dans un absorbeur final. Dans le procédé par simple contact, le SO_3 formé est absorbé dans un absorbeur final installé après le dernier lit de catalyseur. L'acide chaud obtenu est lavé à l'air dans une colonne ou une tour pour récupérer le SO_2 résiduel dans l'acide, l'air chargé de SO_2 est reconduit dans le procédé.

Acide phosphorique³⁵

L'acide phosphorique (H_3PO_4) est utilisé dans la fabrication de phosphates (engrais et compléments pour l'alimentation animale). Il existe deux procédés de fabrication. Dans le

premier, dit thermique, le phosphore élémentaire est produit à partir de phosphorite, de coke et de silice dans un four à résistance électrique, puis oxydé et hydraté pour former l'acide. L'acide ainsi obtenu est pur, mais coûteux et donc produit en petites quantités, principalement pour la fabrication de phosphates industriels.

L'autre procédé, dit par voie humide, consiste en une digestion de la phosphorite par un acide (sulfurique, nitrique ou chlorhydrique). Ce procédé permet d'obtenir de plus grands volumes. Le phosphate tricalcique de la phosphorite réagit avec l'acide sulfurique concentré pour produire de l'acide phosphorique et du sulfate de calcium qui est un sel insoluble. Les conditions de la réaction sont telles que le sulfate de calcium est précipité sous forme de dihydrate (DH) ou d'hémihydrate (HH).

Les principales étapes de production sont les suivantes : broyage de la phosphorite, réaction avec l'acide sulfurique dans une série de réacteurs indépendants agités et maintenus à une température de 70-80 °C et filtration pour séparer l'acide phosphorique du sulfate de calcium.

L'acide phosphorique est généralement stocké dans des réservoirs en acier avec un revêtement caoutchouc, mais l'acier inoxydable, le polyester et le béton avec revêtement de polyéthylène sont également utilisés. Les réservoirs de stockage sont équipés de dispositifs permettant de garder les solides en suspension et ainsi éviter des nettoyages onéreux.

Acide fluorhydrique³⁶

Le fluorure d'hydrogène (HF) est produit sous deux formes : fluorure d'hydrogène anhydre et acide fluorhydrique aqueux. La

³⁵ EIPPCB. 2006b. EFMA. 2000d

³⁶ EIPPCB. 2006b

forme la plus communément commercialisée est le fluorure d'hydrogène, un liquide incolore ou un gaz qui produit d'abondantes fumées au contact de l'air et qui est soluble dans l'eau. Le fluorure d'hydrogène est un sous-produit de la fabrication des engrais superphosphates. L'acide fluorhydrique est utilisé pour graver et polir le verre, dans l'industrie pétrolière comme catalyseur d'alkylation et pour décaper l'acier inoxydable. Il sert aussi à produire des fluorocarbones pour la fabrication de résines, solvants, détachants, tensioactifs et produits pharmaceutiques.

L'acide fluorhydrique s'obtient par la réaction entre le spath fluor acide (CaF_2) et l'acide sulfurique (H_2SO_4). La réaction endothermique se conduit dans des fours rotatifs horizontaux, chauffés de 200 à 250°C (chauffage externe). Le spath fluor sec et un léger excès d'acide sulfurique sont, soit alimentés en continu dans un pré-réacteur fixe où ils sont mélangés, soit alimentés directement dans le four par un transporteur à vis. Le sulfate de calcium (CaSO_4) est prélevé au travers d'une écluse, à l'autre extrémité du four.

Les produits gazeux de la réaction – fluorure d'hydrogène et H_2SO_4 en excès de la réaction primaire et tétrafluorure de silicium (SiF_4), dioxyde de soufre (SO_2), dioxyde de carbone (CO_2) et vapeur d'eau des réactions secondaires – sont aspirés à l'avant du four, avec les particules en suspension. Les particules en suspension sont éliminées des gaz et retournées au four. L'acide sulfurique et l'eau sont éliminés dans un pré-condenseur. Les vapeurs de fluorure d'hydrogène sont ensuite condensées dans des condenseurs réfrigérants pour former le HF brut qui est envoyé dans des réservoirs de stockage intermédiaire. Le flux de gaz résiduel passe dans une tour d'absorption d'acide sulfurique ou un épurateur pour séparer la plupart du fluorure d'hydrogène résiduel et un peu d'acide sulfurique, qui sont envoyés au stockage intermédiaire. Les gaz

à la sortie de l'épuration acide sont traités dans des épurateurs à eau, où le SiF_4 et le HF sont récupérés sous forme d'acide silicofluorhydrique (H_2SiF_6). Les gaz résiduels des épurateurs à eau subissent une épuration alcaline avant leur rejet dans l'atmosphère. Le fluorure d'hydrogène et l'acide sulfurique sont envoyés des réservoirs intermédiaires de stockage vers des colonnes de distillation, où l'acide fluorhydrique est extrait à une pureté de 99,98 %. Une dernière étape de dilution à l'eau permet d'obtenir des concentrations plus faibles (70 à 80 %).

Le HF anhydre est un liquide dont le point d'ébullition se situe à 19,5 °C. Le HF liquide est maintenu à basse température, en dessous de 15 °C, par refroidissement ou installation de condenseurs dans les tuyauteries de mise à l'atmosphère (condensation du HF qui s'évapore). Le HF liquide est stocké à pression atmosphérique, dans des réservoirs en acier au carbone où il se forme une mince couche protectrice de FeF_2 , protégeant les parois du réservoir de la corrosion. La vitesse du liquide dans les tuyauteries doit être inférieure à 1 m/s pour éviter l'érosion de la couche de FeF_2 . L'acide fluorhydrique de concentration supérieure ou égale à 70 % est également stocké dans des réservoirs en acier au carbone, l'acide de concentration inférieure à 70 % est stocké dans des réservoirs en polyéthylène ou avec revêtement en polyéthylène.

Acide chlorhydrique³⁷

L'acide chlorhydrique (HCl) est un produit chimique polyvalent utilisé dans de nombreux procédés : hydrométallurgie, synthèse du dioxyde de chlore, production d'hydrogène et diverses opérations de nettoyage et décapage. Il intervient également dans de nombreuses réactions chimiques et est fréquemment utilisé comme catalyseur en chimie organique.

³⁷ Ministère australien de l'environnement (*Department of the Environment and Heritage*) 2004.

Cet acide est obtenu par divers procédés. Le plus courant consiste à faire réagir de chlorure de sodium avec de l'acide sulfurique. Un procédé plus moderne consiste à obtenir de l'acide chlorhydrique comme sous-produit de la chloration (ex. production de solvants chlorés et organiques).

Industrie du chlore et de la soude³⁸

Cette industrie produit du chlore (Cl_2) et de la soude (soude caustique ou hydroxyde de sodium (NaOH) et hydroxyde de potassium (KOH)), par électrolyse d'une solution saline, à base principalement de chlorure de sodium (NaCl) ou de chlorure de potassium (KCl) pour la production d'hydroxyde de potassium. L'industrie du chlore et de la soude est un important consommateur d'énergie électrique.

Les principales technologies employées sont l'électrolyse à mercure, l'électrolyse à diaphragme et l'électrolyse à membrane. Le chlore gazeux dégagé dans les électrolyseurs est à environ 80-90 °C et saturé en vapeur d'eau. Il contient des impuretés : brouillard de saumure, azote, hydrogène, oxygène, dioxyde de carbone et traces d'hydrocarbures chlorés. Après refroidissement direct ou indirect et élimination des impuretés, le chlore est séché dans des tours à l'aide d'acide sulfurique concentré. Le gaz est ensuite comprimé et liquéfié sous différentes pressions et températures. Le chlore liquéfié est stocké dans des réservoirs à température ambiante ou basse.

L'électrolyseur à membrane est plus respectueux de l'environnement que les procédés plus anciens et il est également plus avantageux d'un point de vue économique. L'anode et la cathode sont séparées par une membrane échangeuse d'ions, imperméable à l'eau. La solution de saumure circule dans le compartiment anodique où les ions

chlorure sont oxydés pour donner du chlore gazeux. Les ions sodium migrent à travers la membrane vers le compartiment cathodique qui contient une solution de soude caustique en circulation. L'eau déminéralisée ajoutée au circuit du catholyte est hydrolysée et libère de l'hydrogène et des ions hydroxydes. Le sodium et les ions hydroxydes se combinent pour donner de la soude caustique qui est amenée à une concentration typique de 32 à 35 % en soumettant la solution à un nouveau cycle avant de sortir de la cellule. De plus fortes concentrations sont obtenues en concentrant la liqueur caustique par évaporation à la vapeur. La production de soude caustique est proportionnelle à celle du chlore (1 128 tonnes de soude caustique (100 %) sont produites par électrolyse d'une tonne de chlore). Contrairement au diaphragme, la membrane empêche la migration des ions chlorure de l'anode vers la cathode, ainsi, la solution de soude ne contient que très peu de sel. La saumure appauvrie sort du compartiment anodique pour être régénérée avec du sel.

Le matériau utilisé pour les cathodes des cellules à membrane est, soit l'acier inox inoxydable, soit le nickel ; les anodes sont en métal. Les cathodes sont souvent revêtues d'un catalyseur qui en augmente la superficie et réduit les surtensions. Ces matériaux de revêtement comprennent notamment des mélanges de Ni-S, Ni-Al et Ni-NiO ainsi que des mélanges de métaux des groupes nickel et platine. Les membranes utilisées dans l'industrie du chlore et de la soude sont couramment réalisées en polymères perfluorés.

Le chlore est souvent produit près des consommateurs. Son stockage et son transport nécessitent une manutention appropriée et l'application des bonnes pratiques pour réduire au minimum les risques. Le chlore est transporté dans des chloroducs, par route et par rail.

³⁸ EIPPCB. 2001.

L'hydrogène est un co-produit de l'électrolyse de la saumure (28 kg par tonne de chlore). Il est en général utilisé sur site comme combustible ou vendu à d'autres sociétés comme carburant ou matière première. En raison de sa grande pureté, il peut être utilisé pour certaines applications, dans les unités intégrées : synthèse de l'ammoniac, du méthanol, de l'acide chlorhydrique, du peroxyde d'hydrogène, etc.

En complément de l'électrolyse, les étapes de fabrication communes à toutes les technologies sont les suivantes : déchargement et stockage du sel, purification et resaturation de la saumure, traitement du chlore, de la soude caustique et de l'hydrogène.

La purification de la saumure consiste en un système primaire pour les procédés à mercure et diaphragme et en un système secondaire supplémentaire pour le procédé à membrane. Cette opération est nécessaire pour éviter les composants indésirables (anions sulfates, cations de calcium, magnésium, baryum et métaux) susceptibles d'avoir une incidence sur l'électrolyse.

La purification primaire utilise du carbonate de sodium et de l'hydroxyde de sodium pour précipiter les ions calcium et magnésium sous forme de carbonate de calcium (CaCO_3) et d'hydroxyde de magnésium ($\text{Mg}(\text{OH})_2$). Pendant cette opération, des métaux peuvent également précipiter sous forme d'hydroxydes. Le sulfate de sodium peut être contrôlé par l'ajout de chlorure de calcium (CaCl_2) ou de sels de baryum (qui présentent un risque en raison de leur toxicité) pour enlever les anions sulfates par précipitation du sulfate de calcium (CaSO_4) ou du sulfate de baryum (BaSO_4). Après la précipitation, les impuretés sont éliminées par sédimentation, filtration ou une combinaison des deux. L'ultrafiltration et la purge de la saumure sont d'autres moyens d'éliminer les sulfates.

La purification secondaire de la saumure consiste en une étape de bifiltration suivie d'un adoucissement dans une unité échangeuse d'ions. Des filtres sont installés pour réduire la quantité de matières en suspension et protéger la résine échangeuse d'ions. Le traitement par la résine de chélation échangeuse d'ions a pour but de ramener le taux des métaux alcalino-terreux à des niveaux de trace. La résine est régénérée périodiquement au moyen de solutions d'acide chlorhydrique et d'hydroxyde de sodium d'une très grande pureté.

Au lieu de diluer les gaz résiduels après la condensation partielle du chlore gazeux, l'hydrogène est éliminé par réaction avec du chlore gazeux dans une colonne. Cette étape produit de l'acide chlorhydrique gazeux qui peut être récupéré dans une unité de production d'acide chlorhydrique.

Carbonate de sodium³⁹

Le carbonate de soude (Na_2CO_3) ou carbonate de sodium est une matière première essentielle pour l'industrie du verre, du savon, des détergents et autres industries chimiques. Le carbonate de sodium (soude calcinée) est produit en deux qualités : le carbonate de sodium léger et le carbonate de sodium dense. Le carbonate de sodium dense est principalement utilisé dans l'industrie du verre et pour un transport économique sur de longues distances. La forme légère est utilisée principalement sur le marché des détergents et de certains produits chimiques intermédiaires.

Le carbonate de sodium est en général produit dans de grandes unités intégrées d'une capacité de 150 à 1 200 kt par an.

Le procédé Solvay consiste en une saturation de la saumure à l'aide d'ammoniac et de dioxyde de carbone gazeux. Ce

³⁹ EIPPCB. 2006a.

procédé utilise une solution de chlorure de sodium (NaCl) et du calcaire (CaCO₃) comme matières premières. L'ammoniac est presque entièrement régénéré et recyclé. Le principal avantage de ce procédé est la large disponibilité de matières premières relativement pures, ce qui permet de faire fonctionner des unités de production au plus près des consommateurs.

Le procédé Solvay produit du carbonate de sodium léger, de masse volumique d'environ 500 kg/m³. Le carbonate de sodium léger est transformé par recristallisation, d'abord en carbonate de sodium monohydraté, puis en carbonate de sodium dense après séchage (déshydratation). La masse volumique du carbonate de sodium dense est d'environ 1 000 kg/m³. Le carbonate de sodium dense peut également être produit par compaction.

Noir de carbone⁴⁰

Le noir de carbone est obtenu par l'oxydation partielle ou la décomposition thermique d'hydrocarbures. Environ 65 à 70 % de la consommation mondiale de noir de carbone sert à la fabrication de pneumatiques et produits connexes pour automobiles et autres véhicules. Approximativement 25 à 30 % sert à la fabrication d'autres produits en caoutchouc et le reste est utilisé pour la production des plastiques, encres d'imprimerie, peintures, papier et applications diverses.

Le noir de carbone diffère des autres matériaux à base de carbone par de nombreux aspects, en particulier sa masse volumique. Les mélanges d'hydrocarbures liquides ou gazeux sont les matières premières les plus utilisées pour la production industrielle de noir de carbone, les hydrocarbures aromatiques donnant les meilleurs rendements.

Il existe deux procédés : la combustion incomplète ou partielle et le craquage thermique. Dans les procédés de combustion partielle, l'air est utilisé pour brûler une partie de la matière première, produisant ainsi l'énergie requise pour réaliser la pyrolyse ; dans le procédé de craquage thermique, la chaleur est générée de manière externe.

Le noir de fourneau est actuellement la forme la plus commercialisée. Il représente plus de 95 % de la production mondiale totale. C'est un procédé continu qui présente l'avantage d'une grande souplesse et qui est plus économique par rapport aux autres procédés. La capacité de production classique d'un réacteur de noir de fourneau moderne est d'environ 2000 kg/h. Des huiles aromatiques lourdes sont injectées sous forme d'une pulvérisation atomisée dans un flux de gaz de combustion à haute vitesse où elles sont partiellement brûlées et craquées à 45-65 % pour produire du noir de carbone et de l'hydrogène à une température allant de 1 200 à 1 700° C. Après trempage à l'eau, le noir de carbone est recueilli dans des cyclones ou des filtres à poche, puis granulé, séché et stocké en silos ou expédié.

Distillation du goudron

Le goudron de houille est actuellement presque entièrement distillé en alambics continus, de capacité de 100 à 700 tonnes par jour. C'est de produit de condensation obtenu par refroidissement des gaz de la distillation du charbon (pyrolyse ou carbonisation du charbon). Le goudron de houille est un liquide noir et visqueux, plus dense que l'eau. Le brai est un résidu noir très visqueux, semi-solide ou solide de la distillation du goudron de houille.

Le goudron de houille, qui se distille à environ 400 °C à pression atmosphérique, est un mélange complexe d'hydrocarbures aromatiques polycycliques et monocycliques,

⁴⁰ EIPPCB. 2006a.

dont une partie est substituée par des groupes alkyl, hydroxyle, amine et/ou hydrosulfure et, plus rarement, par leurs analogues soufrés, azotés et oxygénés. Les goudrons produits à des températures de carbonisation du charbon plus basses contiennent également des composés hydroaromatiques, des alcanes et des alcènes. Le résidu de la distillation représente au minimum 50 % du goudron de houille après carbonisation à haute température et consiste en une séquence de composés aromatiques polynucléaires, aromatiques et hétérocycliques, avec des molécules comprenant de 20 à 30 noyaux.

La corrosion métallique associée à la distillation en continu du goudron ne doit pas être négligée dans la gestion de l'usine. Les sels d'ammonium (principalement du chlorure ammonium), associés à la liqueur, restent dans le goudron après déshydratation et tendent à se dissocier lors de la production d'acide chlorhydrique. Cet acide peut détériorer les équipements où circulent ces vapeurs à une température supérieure à 240°C, notamment les condenseurs des colonnes de déshydratation et fractionnement. L'ajout de soude (solution de carbonate de sodium ou de soude caustique) au goudron permet de lutter contre la corrosion.

Une distillation primaire produit, selon la température, soit une seule fraction, l'huile de naphthalène (180 à 240°C), soit deux fractions, la créosote légère (230–300°C) et la créosote lourde (supérieure à 300°C), entre l'huile de naphthalène et le brai.

Les acides crésyliques à point d'ébullition plus élevé sont des mélanges de crésols ou de xylénols et de phénols à haut point d'ébullition. Ils sont principalement utilisés dans les résines de formaldéhyde de phénol, les solvants pour vernis isolant électrique, les agents de dégraissage des métaux, les agents de flottation à la mousse et les agents synthétiques de tannage.

Le naphthalène est le composant principal du goudron à distiller et le seul composant pouvant être suffisamment concentré lors de la distillation primaire⁴¹. Les huiles de naphthalène peuvent ensuite être valorisées selon divers procédés, principalement par cristallisation de l'huile de naphthalène primaire en dérivés phtaliques ou par conversion de ces dérivés en huiles anthracéniques. Le naphthalène était traditionnellement utilisé comme produit chimique intermédiaire dans la fabrication d'anhydride phtalique, de β -naphthol et de teintures. Plus récemment, il est utilisé dans la condensation de l'acide naphthalène sulfonique, avec le formaldéhyde comme additif pour améliorer la coulabilité du béton. La production de diisopropylnaphthalènes est une autre application.

L'anthracène brut est isolé des huiles anthracéniques de houille. L'huile anthracénique donne un résidu limité à 360°C, l'huile est diluée avec des huiles résiduelles de naphthalène ou une huile d'absorption légère, puis le mélange est refroidi à 35°C. La boue solide-liquide résultante est filtrée ou centrifugée pour produire de l'huile anthracénique brute contenant de 40 à 45 % d'anthracène.

La récupération des dérivés du goudron laisse un résidu huileux, notamment des naphtes lourds, de l'huile carbolique déphénolée, des huiles résiduelles de naphthalène, de l'huile d'absorption, de l'huile anthracénique et de l'huile lourde. Ces produits sont mélangés pour obtenir des huiles de créosote, utilisées pour conserver le bois. La créosote de goudron de houille est également une matière première pour la fabrication du noir de carbone. Il existe également des débouchés mineurs : goudron fluidifié, brai et bitume.

⁴¹ Les huiles de naphthalène obtenues à partir des goudrons de houille contiennent généralement de 60 à 65% de naphthalène.