

Directives environnementales, sanitaires et sécuritaires pour la transformation du charbon

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 :

<http://www.ifc.org/ifcext/sustainability.nsf/Content/EnvironmentalGuidelines>

Les Directives EHS indiquent les mesures et les niveaux de performances qui sont généralement considérés réalisables dans de nouvelles installations avec les technologies existantes

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.

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 portent sur la transformation du charbon en produits chimiques gazeux ou liquides, y compris en carburants. Elles s'appliquent à la production de gaz de synthèse par divers

procédés de gazéification, à sa transformation ultérieure en hydrocarbures liquides (synthèse Fischer-Tropsch), en méthanol ou autres produits liquides oxygénés, ainsi qu'à la liquéfaction directe du charbon par hydrogénation en vue de la production d'hydrocarbures liquides.

Ce document se compose des sections suivantes:

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
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 liées à la transformation du charbon, et contient des recommandations quant à leur gestion. Les recommandations relatives à la gestion des questions communes à la plupart des projets de grande envergure aux cours de leurs phases de construction et de démantèlement figurent dans les **Directives EHS générales**.

1.1 Environnement

Les problèmes environnementaux qui peuvent résulter de la transformation du charbon rentrent dans les catégories suivantes :

- Émissions atmosphériques
- Eaux usées
- Matières dangereuses
- Déchets
- Bruit

Émissions atmosphériques

Émissions fugitives de particules et émissions gazeuses

Les principales sources d'émission dans les installations de transformation du charbon sont les sources fugitives de matières particulaires (PM), les composés organiques volatils (COV), le monoxyde de carbone (CO) et l'hydrogène. Le transfert, le stockage et la préparation du charbon peuvent représenter une part importante des émissions fugitives de particules de charbon. Les recommandations visant à prévenir et à maîtriser ces émissions visent notamment à :

- agencer l'usine ou les installations industrielles de manière à faciliter la lutte contre les émissions et à réduire le nombre de points de transfert du charbon ;
- employer du matériel de chargement et de déchargement afin de réduire la hauteur de chute du charbon sur les tas ;
- utiliser des systèmes d'arrosage et/ou des revêtements polymères pour réduire la formation de poussières fugitives dans les stocks de charbon (les tas), selon les possibilités et la qualité du charbon ;
- capter les émissions de poussière générées par les opérations de broyage/calibrage du charbon et son acheminement vers un dépoussiéreur à sacs filtrants ou tout autre matériel de captage des matières particulaires ;
- pour les séchoirs thermiques, utiliser des hydrocyclones puis des laveurs à venturi ;
- pour le matériel pneumatique de nettoyage du charbon, employer des hydrocyclones puis des séparateurs à couches filtrantes ;
- prévoir des convoyeurs fermés ainsi que des équipements d'extraction et de filtration aux différents points de transfert ; et
- éliminer les poussières pendant les différentes étapes de transformation du charbon (broyage, calibrage et séchage)

ainsi que pendant le transfert des matériaux (par exemple sur les convoyeurs) en employant notamment des systèmes de pulvérisation avec récupération et traitement ou réutilisation de l'eau.

Les émissions fugitives d'autres polluants atmosphériques concernent notamment les fuites de composés organiques volatils (COV), le monoxyde de carbone (CO) et l'hydrogène libérés par différents procédés industriels, en particulier dans les usines de production de gaz de synthèse; dans les stocks de charbon ; dans les unités de production de méthanol et les installations de synthèse Fischer-Tropsch ; dans les usines de valorisation du produit ; dans les installations de traitement des effluents huileux et des eaux usées, en particulier les bassins compensateurs et les séparateurs huile/eau. Les émissions fugitives peuvent également provenir de fuites d'origines diverses, notamment les conduites, robinets, raccords, brides, joints, canalisations ouvertes ; de pertes en cours de stockage et de manutention dans les réservoirs à toit fixe ou flottant, les joints de pompe, les systèmes d'acheminement des gaz, les joints de compresseurs, les soupapes de sécurité, les puits ouverts/confinements et les zones de chargement et de déchargement des hydrocarbures.

Les recommandations visant à prévenir et maîtriser les sources fugitives de polluants atmosphériques consistent notamment à :

- réduire les émissions fugitives provenant des conduites, robinets, joints, réservoirs et autres éléments d'infrastructure en assurant une surveillance régulière au moyen de détecteurs de vapeurs ainsi que l'entretien ou le remplacement prioritaires des pièces défectueuses;
- stabiliser la pression dans les réservoirs et conserver un espace pour la vapeur comme indiqué ci-après :
 - coordonner les opérations de remplissage et de soutirage et équilibrer la vapeur entre les réservoirs

(pour que, à mesure que le réservoir se remplit, les vapeurs soient expulsées et renvoyées vers la citerne qui se vide ou dans toute autre enceinte de l'installation de récupération de vapeur).

- utiliser une peinture de couleur blanche – ou toute autre couleur réfléchissante absorbant peu la chaleur – sur la surface externe des réservoirs de stockage pour distillats légers (par ex. essence, éthanol et méthanol) pour réduire l'absorption de chaleur. Il convient de tenir compte des risques d'impact visuel dus aux reflets de la lumière sur les réservoirs;
- selon la capacité de stockage du réservoir et la pression de vapeur des matériaux entreposés, sélectionner le type de réservoir approprié pour minimiser le stockage et les pertes durant le travail, conformément aux normes de conception internationalement acceptées² ;
- pour les réservoirs à toit fixe, réduire au minimum le stockage et les pertes durant le travail en installant des joints et un toit flottant interne³ ;
- pour les réservoirs à toit flottant, concevoir et installer des plateformes, des raccords et des joints de bordure, conformément aux normes internationales, afin de réduire le plus possible les pertes par évaporation⁴ ;

² Par exemple, d'après la norme API 650 : Welded Steel Tanks for Oil Storage (1998), les réservoirs neufs, modifiés ou restructurés d'une capacité supérieure ou égale à 150.000 litres destinés au stockage de liquides ayant une pression de vapeur supérieure ou égale à 0,75 psi, mais inférieure à 11,1 psi, ou d'une capacité supérieure ou égale à 75 000 litres pour le stockage de liquides ayant une pression de vapeur supérieure ou égale à 4 psi, mais inférieure à 11,1 psi doivent être équipés d'un toit fixe ainsi que d'un toit flottant interne avec un joint d'étanchéité primaire mécanique avec patins trempant dans le liquide; ou d'un toit flottant externe avec un joint primaire mécanique avec patins trempant dans le liquide et un joint secondaire continu monté sur le rebord, les deux joints devant respecter un écart minimum, et d'un couvercle avec joint d'étanchéité sur les garnitures du toit; ou d'un système de ventilation fermé et d'un dispositif de contrôle ayant une efficacité de 95%.

³ L'entrée des travailleurs à l'intérieur des réservoirs doit être régie par les procédures de délivrance de permis d'entrée dans les espaces confinés exposées dans les Directives EHS générales.

⁴ Exemples : Norme API 620 : Design And Construction Of Large, Welded, Low-Pressure Storage Tank (2002), Norme API 650 : Welded Steel Tanks For Oil Storage (1998) et Norme de l'Union européenne (UE) EN 12285-2:2005. Réservoirs en acier fabriqués en atelier - Partie 2 : Réservoirs horizontaux

- examiner la possibilité d'utiliser des systèmes de distribution avec retour des vapeurs, des tuyaux flexibles à récupération de vapeur et des camions, wagons et navires étanches pour éviter la dispersion de vapeur lors du chargement et du déchargement.
- utiliser des quais de chargement par le bas pour le chargement des camions et wagons.
- si les émissions de vapeur dégradent la qualité de l'air ambiant dans des proportions incompatibles avec les normes sanitaires, procéder à des opérations de traitement des émissions secondaires, telles que condensation et récupération de vapeur, traitements par oxydation catalytique, utilisation de matériaux absorbant les gaz, réfrigération ou absorption des huiles pauvres.

Gaz à effet de serre

La fabrication de gaz de synthèse libère d'importants volumes de dioxyde de carbone (CO₂), en particulier durant la réaction de conversion, et du fait de tous les procédés reposant sur la combustion (par exemple la production d'électricité et l'incinération des sous-produits ou leur utilisation pour la cogénération). Les recommandations en matière de conservation énergétique et de lutte contre les émissions de gaz à effet de serre sont particulières à chaque site ou projet, mais peuvent reprendre certaines des recommandations formulées dans les **Directives EHS générales**. Dans les installations intégrées, les opérateurs doivent viser une action globale, à l'échelle de l'installation, lorsqu'ils choisissent un procédé et des technologies d'approvisionnement en eau et en électricité.

Particules, huiles lourdes et métaux lourds

Les opérations de préparation du charbon (par exemple l'utilisation de séchoirs), sa gazéification (notamment,

l'alimentation et l'élimination des cendres) et sa liquéfaction peuvent générer des émissions à la source de poussières et de pétrole lourd (goudrons). Il convient de sélectionner des technologies appropriées pour réduire au minimum les émissions de particules. Les métaux lourds présents dans le charbon peuvent être libérés sous forme d'émissions atmosphériques au cours de la gazéification.

La plupart des métaux lourds peuvent être éliminés par les dépoussiéreurs par voie humide. Des technologies d'absorption peuvent s'avérer nécessaires en vue de l'élimination du mercure dans les métaux présentant une importante teneur en mercure. Des recommandations sur la lutte contre les matières particulières sont exposées dans les **Directives EHS générales**.

Gaz acides et ammoniacque

Les émissions des cheminées d'évacuation des gaz dans les systèmes Claus de récupération du soufre se composent d'un mélange de gaz inertes contenant du dioxyde de soufre (SO₂), et la transformation du charbon constitue une source majeure d'émissions atmosphériques. La gazéification peut également produire des substances polluantes telles que le sulfure d'hydrogène (H₂S), le sulfure de carbone (COS), le disulfure de carbone (CS₂), le monoxyde de carbone (CO), l'ammoniacque (NH₃), et l'acide cyanhydrique (HCN). De manière générale, ces gaz se prêtent très bien à récupération au cours de l'épuration du gaz de synthèse (>99 pour cent). La liquéfaction, y compris le mélange des boues, peut générer des émissions contenant d'autres gaz acides et composés organiques volatils. Les stratégies recommandées pour lutter contre les émissions de COV consistent notamment à :

cylindriques à simple et double paroi pour le stockage aérien de liquides inflammables et non inflammables polluant l'eau (2005).

- mettre en place un système de récupération du soufre afin d'éviter les émissions de H₂S (par exemple les systèmes Claus) ;
- ventiler les réservoirs de mélange des boues et réacheminer l'air récupéré qui sera utilisé comme air de combustion pour la production d'énergie ou de chaleur ;
- prévoir des installations de lavage, des laveurs de refus gazeux par oxydation ou par réduction, ainsi que des laveurs à venturi, afin de réduire les émissions de dioxyde de soufre ;
- en cas d'installation de dispositifs d'incinération pour l'élimination du soufre, régler l'incinérateur à une température égale ou supérieure à 650 degrés Celsius (°C) avec un ratio correct air/combustible pour obtenir une incinération complète du H₂S ; et,
- équiper les cheminées d'accès permettant l'utilisation de dispositifs de surveillance (par exemple des émissions de SO₂ provenant du procédé Claus et des incinérateurs).

Gaz de combustion

La combustion de gaz de synthèse ou de gasoil pour la production d'énergie et de chaleur dans les usines de transformation du charbon représente une source majeure d'émissions atmosphériques, en particulier du CO₂, des oxydes d'azote (NO_x), du SO₂, et du monoxyde de carbone (CO) en cas de dysfonctionnement des brûleurs.

Les directives concernant les émissions produites par les opérations de combustion associées aux activités de cogénération d'énergie électrique ou mécanique, de vapeur et/ou de chaleur, indépendamment du type de carburant utilisé, et dotées d'une capacité nominale totale de 50 MW, sont présentées dans les **Directives EHS générales**. Les recommandations relatives aux installations électriques de plus

grande taille sont présentées dans les **Directives EHS pour l'électricité thermique**.

Les stratégies de gestion préconisées pour les émissions provenant de l'exploitation des sources d'énergie électrique entrent dans le cadre d'une approche combinée qui fait appel à la réduction de la demande énergétique, l'utilisation de combustibles plus propres et l'application de contrôles des émissions là où cela est nécessaire. Des recommandations en matière de bon rendement énergétique figurent dans les **Directives EHS générales**.

Dégazage et torchage

Dans les installations de transformation du charbon, le dégazage et le torchage 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 matières premières inaltérées et les gaz combustibles résiduels sont également évacués par torchage et dégazage. En règle générale, les gaz excédentaires ne doivent pas être rejetés dans l'atmosphère mais être acheminés vers un système efficace de torchage.

Les recommandations formulées pour réduire le dégazage et le torchage au minimum visent notamment à :

- optimiser les contrôles internes pour augmenter les taux de réaction de conversion ;
- dans la mesure du possible, employer des matières premières inaltérées et des gaz combustibles résiduels pour produire de l'énergie ou récupérer la chaleur ;
- prévoir des systèmes auxiliaires pour une fiabilité d'exploitation maximale ; et,

- installer les systèmes de dégazage à bonne distance des logements du personnel et des zones résidentielles, et assurer leur bon entretien pour une efficacité optimale.

Un rejet dans l'atmosphère en situation d'urgence peut être acceptable dans certaines conditions, lorsqu'il n'est pas possible de brûler les flux de gaz à la torche. Il convient d'analyser ces situations selon des méthodes normalisées d'évaluation des risques. Si l'on décide de ne pas utiliser un système de torchage, 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.

Eaux Usées

Eaux usées résultant du procédé industriel

Les eaux de procédé peuvent être contaminées par des hydrocarbures, de l'ammoniaque, des amines, des composés oxygénés, des acides, des sels inorganiques et des ions de métaux lourds à l'état de traces. Les recommandations en matière de gestion des eaux usées industrielles ont notamment pour buts :

- la prévention des déversements accidentels de liquides par des contrôles, l'entretien des systèmes de stockage et de transport — y compris pour prévenir l'empilement de caisses sur les pompes, les robinets et autres sites potentiels de fuite — et la mise en oeuvre de plans d'intervention en cas de déversements;
- la mise en place d'une capacité d'évacuation suffisante pour réintroduire le maximum de fluides industriels dans le procédé et éviter des évacuations massives dans les systèmes de vidange des eaux huileuses; et,
- la conception et la construction de bassins de retenue des eaux usées et des matières dangereuses doublés de

revêtements étanches empêchant l'infiltration des eaux contaminées dans les sols et les eaux souterraines.

Les dispositions spécifiques en matière de gestion des différents flux d'eaux usées couvrent notamment les aspects suivants :

- les déversements d'amines provenant du système de neutralisation des eaux usées alcalines au dioxyde de carbone, en aval de l'unité de gazéification, doivent être collectés dans un système de drainage hermétique prévu à cet effet et être recyclés dans le procédé industriel après avoir été filtrés;
- les effluents provenant de la colonne de rectification de l'unité Fischer-Tropsch contiennent des hydrocarbures dissous et des composés oxygénés (principalement des alcools et des acides organiques) ainsi que des volumes mineurs de cétones; ces matières doivent être recirculées dans l'unité de synthèse Fischer-Tropsch afin de récupérer les hydrocarbures et les composés oxygénés dans la colonne de rectification ;
- les effluents acides et caustiques résultant de la préparation d'eau déminéralisée — dont la production dépend de la qualité de l'alimentation en eau brute pour le procédé — doivent être neutralisés avant d'être évacués dans le système de traitement des eaux usées de l'usine ;
- les eaux de purge provenant du système de production de vapeur et des tours de refroidissement doivent être refroidies avant leur évacuation. Il peut aussi s'avérer nécessaire d'épurer ou de traiter les eaux froides contenant des biocides ou d'autres additifs dans le système de traitement des eaux usées de l'usine avant de les évacuer ; et,
- les eaux contaminées par des hydrocarbures suite aux activités de nettoyage prévues dans le cadre de la révision

générale de l'usine (le nettoyage est généralement entrepris annuellement et peut durer pendant plusieurs semaines), les effluents huileux provenant de fuites et les effluents chargés de métaux lourds provenant des lits fixes et fluidisés doivent être traités à la station de traitement des eaux usées de l'usine.

Traitement des eaux de procédé

Les techniques de traitement des déchets liquides de cette branche d'activité sont la séparation à la source et le prétraitement des flux concentrés d'eaux usées. Le traitement des eaux usées donne généralement lieu à : des bacs à graisses, des écumeurs, la flottation à air dissous et/ou des séparateurs huile/eau qui permettent de séparer les huiles des solides flottables, des systèmes de filtration permettant de récupérer les solides filtrables, des systèmes de répartition des flux et des charges, la sédimentation des solides en suspension dans des clarificateurs, des traitements biologiques, le plus souvent aérobies, qui permettent de réduire la quantité de matière organique soluble (DBO), l'élimination des produits chimiques ou des nutriments biologiques en vue de la réduction des quantités d'azote et de phosphore, la chloration des effluents si une décontamination s'avère nécessaire, la déshumidification et l'élimination des résidus dans des décharges destinées spécifiquement aux déchets dangereux. Des mesures de contrôle d'ingénierie supplémentaires peuvent s'avérer nécessaires pour : i) contenir et traiter les composés organiques volatils récupérés après traitement des eaux usées issues de différentes opérations industrielles ; ii) utiliser des systèmes de pointe d'enlèvement des métaux par des processus de filtration sur membrane, ou d'autres technologies de traitement physiques/chimiques ; iii) éliminer les composés organiques récalcitrants, le cyanure et la DCO non biodégradable à l'aide de charbon actif ou par oxydation chimique avancée ; iv) réduire la toxicité des effluents à l'aide

de technologies adaptées (osmose inversée, échange d'ions, charbon actif, etc.) ; et v) contenir et neutraliser les nuisances olfactives.

La gestion des eaux usées industrielles et les différentes méthodes de traitement envisageables sont décrites dans les **Directives EHS générales**. Grâce à l'utilisation de ces techniques et à l'application de bonnes pratiques de gestion des eaux usées, les unités de fabrication devraient satisfaire aux critères définis par les valeurs de référence indiquées au tableau correspondant de la section 2 du présent document pour cette branche d'activité. Des recommandations pour réduire la consommation d'eau, en particulier dans les sites où les ressources naturelles en eau sont limitées, sont fournies dans les **Directives EHS Générales**.

Autres eaux usées et consommation d'eau

Les directives sur la gestion des eaux usées non contaminées provenant des équipements sanitaires, des eaux pluviales non contaminées et des eaux d'égout sont présentées dans les Directives EHS générales. Les écoulements d'eau contaminée doivent être acheminés de manière à passer par le système de traitement des eaux usées industrielles. D'autres directives spécifiques sont apportées ci-après.

Eaux pluviales: Les eaux pluviales peuvent être contaminées suite à des déversements de liquides industriels et à la migration de solutions de lixiviation contenant des hydrocarbures et des métaux lourds provenant des zones de stockage du charbon. Les mesures supplémentaires applicables à cette branche d'activité consistent, notamment, à :

- asphalter le site industriel, séparer les eaux pluviales contaminées des eaux non contaminées, et mettre en oeuvre des plans d'intervention contre les déversements. Acheminer les eaux pluviales provenant des zones

industrielles vers la station de traitement des eaux usées ;
et,

- concevoir et implanter les installations de stockage du charbon et les systèmes de collecte des lixiviats de manière à prévenir les impacts sur le sol et les ressources en eau. Les zones prévues pour les tas de charbon doivent être asphaltées pour pouvoir isoler les eaux pluviales potentiellement contaminées et les acheminer vers la station de traitement des eaux usées.

Eau de refroidissement : le refroidissement à l'eau peut entraîner une forte consommation d'eau, à quoi s'ajoute le risque de rejet d'eau extrêmement chaude ainsi que des résidus de biocides et d'autres agents antialgues utilisés dans le procédé de refroidissement. Les stratégies recommandées pour la gestion de l'eau de refroidissement consistent, notamment, à :

- exploiter les possibilités de conserver l'eau en utilisant les systèmes de refroidissement de l'usine, comme indiqué dans les **Directives EHS générales** ;
- recourir aux méthodes de récupération de la chaleur (et aux améliorations du rendement énergétique) ou à d'autres méthodes de refroidissement permettant de réduire la température des eaux chaudes avant de les évacuer, pour s'assurer qu'elles n'entraînent pas une augmentation de plus de 3°C de la température ambiante à la limite d'une zone de mélange scientifiquement établie, et en tenant compte de la qualité de l'eau ambiante, de l'utilisation de l'eau réceptrice, de sa capacité d'autoépuration, etc. ;
- réduire au minimum l'utilisation des produits antialgues et anticorrosion en veillant à puiser l'eau à une profondeur adéquate et en utilisant des tamis ; sélectionner les solutions les moins dangereuses en termes de toxicité, biodégradabilité, biodisponibilité et du potentiel de bio-

accumulation ; appliquer les doses recommandées par les fabricants en respectant les réglementations locales ; et

- pratiquer des analyses pour détecter les biocides résiduels et les autres polluants préoccupants, et déterminer s'il convient d'ajuster les doses ou de traiter les eaux de refroidissement avant leur évacuation.

Eau des essais hydrostatiques : les essais hydrostatiques des équipements et des conduites sont des essais sous pression d'eau (généralement de l'eau brute filtrée) des équipements pour vérifier l'intégrité structurale du matériel et détecter des fuites éventuelles. Des additifs chimiques (le plus souvent inhibiteurs de corrosion, désoxygénants et colorants) peuvent être employés. Dans le cadre de la gestion des eaux des essais hydrostatiques, il importe de prendre des mesures de prévention et de dépollution qui consistent à :

- réutiliser l'eau pour de multiples essais afin de la conserver et de réduire au minimum les décharges d'effluents potentiellement contaminés ;
- réduire l'emploi d'inhibiteurs de corrosion et autres produits chimiques en minimisant le temps pendant lequel l'eau des essais reste dans le matériel ou la conduite ; et
- choisir les additifs chimiques compte tenu des caractéristiques suivantes : concentration et dose, toxicité, biodégradabilité, biodisponibilité et bioaccumulation potentielle.

Si le déversement des eaux d'essais hydrostatiques dans la mer ou dans des masses d'eau de surface est la seule option possible, il convient d'établir un plan d'évacuation de ces eaux couvrant l'emplacement des points d'immersion en mer ou dans les eaux de surface, le taux de déversement, l'utilisation et la dispersion de produits chimiques, les risques écologiques, et les

opérations de contrôle requises. L'immersion dans les eaux côtières peu profondes est à éviter.

Matières dangereuses

Les installations de transformation du charbon produisent des quantités importantes de matières dangereuses, qu'il s'agisse de matières intermédiaires, de produits finis ou de sous-produits. La manutention, le stockage et le transport de ces matières dangereuses doivent s'effectuer dans des conditions appropriées, afin de prévenir ou de limiter tout impact sur l'environnement. Les pratiques recommandées en matière de gestion, notamment de manutention, de stockage et de transport des matières dangereuses sont présentées dans les **Directives EHS générales**.

Déchets

Les déchets non dangereux comprennent la cendre résiduelle de charbon, les scories, les cendres volantes et les boues de stockage de charbon. La cendre résiduelle et les scories⁵ sont des sous-produits grossiers, granuleux et incombustibles qui s'amassent au fond des gazogènes. Les cendres volantes sont également captées dans le réacteur. En général, scories et cendres sont produites en grandes quantités, en fonction de la qualité du charbon utilisé dans l'usine. La forme des cendres dépend du procédé de gazéification.

Les déchets potentiellement dangereux sont généralement les catalyseurs épuisés, les huiles, les solvants, les solutions de réactifs, les filtres, les lits filtrants saturés, les fractions lourdes de purification et de synthèse, les conteneurs usagés, les fonds huileux, les alcools minéraux, les adoucissants usagés, les amines épuisées pour l'élimination du CO₂, les filtres à charbon actif, les boues huileuses provenant des bacs à graisses, et les

fluides usagés ou épuisés servant à l'exploitation et à la maintenance, tels que les huiles, les liquides d'essais et les boues provenant du traitement des eaux usées.

Des recommandations générales pour la gestion des déchets dangereux et non dangereux sont présentées dans les **Directives EHS générales**. Les principales pratiques de gestion des déchets spécifiques à ce secteur industriel sont présentées ci-après.

Cendre résiduelle de charbon, scories et cendres volantes

En fonction de leur toxicité et de leur radioactivité, la cendre résiduelle de charbon, les scories et les cendres volantes peuvent être recyclées étant donné que des solutions techniques viables sont disponibles dans le commerce. Les méthodes de recyclage recommandées consistent, notamment, à :

- utiliser la cendre résiduelle comme agrégat dans les éléments de maçonnerie en béton léger, comme charge d'alimentation brute dans la production de ciment artificiel, comme couche de base et couche de fondation dans les revêtements routiers, comme matériau de remblai structurel, comme granulat fin dans les revêtements asphaltés et comme concentré fluidifiable;
- utiliser les scories comme grenaille explosive, granulés pour bardeaux de toiture, matériau pour déneigement et déverglacage, agrégat pour les revêtements asphaltés, matériau de remblai structurel, couche de base et couche de fondation dans la construction de routes;
- utiliser les cendres volantes dans les produits de construction exigeant un matériau pouzzolanique.

Lorsque ces matériaux ne peuvent être recyclés en raison de leur toxicité/radioactivité ou parce qu'il n'existe dans le

⁵ Centre d'information sur le recyclage des matériaux (RMRC), cendre résiduelle de charbon/scories de chaudières, disponible à l'adresse suivante : <http://www.rmrc.unh.edu/Partners/UserGuide/cbabs1.htm>

commerce aucune solution techniquement viable, ils doivent être évacués dans une décharge contrôlée autorisée, conçue et exploitée selon les bonnes pratiques internationalement reconnues pour ce secteur⁶.

Boues de stockage du charbon

Les boues et poussières de charbon provenant des zones de stockage et de préparation du charbon doivent être séchées et réutilisées ou recyclées dans la mesure du possible. Les solutions envisageables peuvent inclure leur réutilisation en tant que charge d'alimentation pour la gazéification, selon la technique de gazéification employée. La manutention, le transport et la gestion des boues sur et hors site doivent être effectués conformément aux recommandations sur la gestion des déchets industriels non dangereux exposées dans les **Directives EHS générales**.

Catalyseurs épuisés

Les catalyseurs épuisés proviennent du remplacement des lits catalytiques durant les périodes d'entretien programmées des unités de sulfuration du gaz de synthèse, la réaction de synthèse Fischer-Tropsch, l'isomérisation, le craquage catalytique et la synthèse de méthanol. En fonction du procédé utilisé, les catalyseurs épuisés peuvent contenir du zinc, du nickel, du fer, du cobalt, du platine, du palladium et du cuivre.

Les stratégies de gestion recommandées pour les catalyseurs usés sont, notamment, les suivantes :

- Une gestion sur site appropriée, qui consiste notamment à immerger les catalyseurs pyrophoriques usagés dans l'eau lors de leur stockage temporaire et leur transport, jusqu'au

stade ultime de leur traitement pour éviter tout risque de réaction exothermique incontrôlée ;

- le retour au fabricant pour régénération ; et
- une gestion hors site assurée par des entreprises spécialisées qui peuvent soit récupérer les métaux lourds (ou les métaux précieux), en utilisant dans la mesure du possible des procédés de récupération et de recyclage, soit gérer les catalyseurs usés suivant les méthodes de gestion des déchets industriels dangereux et non dangereux recommandées dans les **Directives EHS générales**. Les catalyseurs contenant du platine ou du palladium doivent être envoyés dans une installation de récupération des métaux précieux.

Fractions pétrolières lourdes

Les fractions pétrolières lourdes provenant de l'unité de purification des usines de synthèse de méthanol sont normalement incinérées dans des chaudières à vapeur au moyen d'un brûleur spécial.

Bruit

Le bruit généré dans les installations de transformation du charbon vient principalement des activités physiques de transformation (par exemple le calibrage, le broyage, le classement et le tri) ainsi que des grandes machines rotatives (notamment, compresseurs, turbines, pompes, moteurs électriques, refroidisseurs d'air et chauffages à combustibles). En cas de dépressurisation d'urgence, des niveaux élevés de bruit peuvent résulter de la libération de gaz sous pression pour leur torchage et/ou de vapeur dans l'atmosphère. Des recommandations générales pour la gestion des matières dangereuses et la gestion des risques associés à l'utilisation de produits chimiques sont présentées dans les **Directives EHS générales**.

⁶ Des indications complémentaires sur l'évacuation des déchets industriels dangereux et non dangereux sont fournies dans les **Directives EHS pour les installations de gestion des déchets**.

1.2 Hygiène et sécurité au travail

Les risques propres à l'installation qui peuvent se poser dans le domaine de l'hygiène et de la sécurité au travail 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**.

Les risques les plus significatifs en matière d'hygiène et de sécurité au travail sont associés à l'exploitation d'une installation de transformation du charbon et rentrent dans les catégories suivantes :

- Sécurité des opérations
- Dégagements de gaz enrichi en oxygène
- Air à faible teneur en oxygène
- Risques d'inhalation
- Incendie et explosions

Sécurité des opérations

Des protocoles garants de la sécurité des opérations doivent être suivis en raison des caractéristiques propres à cette branche d'activité, qui fait intervenir des réactions chimiques complexes, l'utilisation de matières dangereuses (ex. matières toxiques, réactives, inflammables ou explosives) et des

réactions organiques à plusieurs étapes. Pour gérer la sécurité des opérations, il importe de prendre des mesures pour :

- Évaluer les dangers physiques que les matériaux utilisés et les réactions chimiques peuvent présenter ;
- Réaliser des analyses des risques liés aux pratiques de chimie industrielle et d'ingénierie utilisées, y compris en matière de thermodynamique et de cinétique ;
- Examiner les procédures d'entretien préventif et l'intégrité mécanique des installations et des équipements industriels ;
- Former les ouvriers ; et,
- Formuler des consignes d'exploitation et des procédures d'intervention d'urgence.

Dégagements de gaz enrichis en oxygène

Des fuites de gaz enrichis en oxygène peuvent survenir dans les séparateurs à air, et créer un risque d'incendie en raison de la présence d'air enrichi en oxygène. L'air enrichi en oxygène peut saturer en oxygène les matériaux, les cheveux et les vêtements qui risquent dès lors de s'enflammer brutalement en cas d'étincelle. Les mesures de prévention et de lutte visant à réduire l'exposition à l'air enrichi en oxygène, sur et hors site, consistent notamment à :

- Installer un système automatique d'arrêt d'urgence permettant de détecter et de signaler les dégagements incontrôlés d'oxygène (y compris la présence d'air enrichi en oxygène dans les aires de travail⁷), de déclencher les arrêts nécessaires pour réduire au minimum la durée des dégagements, et d'éliminer les sources potentielles d'allumage ;

⁷ Les aires de travail susceptibles de contenir de l'air enrichi en oxygène doivent être équipées de systèmes de détection. Les ouvriers doivent avoir des dispositifs de contrôle individuel. Les deux types de systèmes doivent être dotés d'une alarme réglée pour se déclencher lorsque la concentration d'O₂ dans l'air atteint 23,5 %.

- Aménager les installations et leurs différentes sections conformément aux normes de sécurité professionnelle applicables, en évitant d'installer les conduites de transport d'oxygène dans des espaces clos, en veillant à la sécurité des installations électriques et en prévoyant dans l'ensemble des installations un système de dégazage de l'oxygène tenant compte des impacts possibles des gaz libérés ;
- Mettre en place des procédures de délivrance de permis pour l'entrée dans les espaces clos et pour la réalisation de travaux dans des environnements chauds qui tiennent spécifiquement compte des risques de dégagement d'oxygène ;
- Instaurer de bonnes pratiques de gestion interne pour éviter l'accumulation des matières combustibles ;
- élaborer et appliquer des plans de préparation et d'intervention en cas d'urgence intégrant des procédures spécifiques de lutte contre les dégagements incontrôlés d'oxygène ; et
- fournir le matériel approprié de prévention et de lutte contre l'incendie, comme il est dit ci-après (Risques d'incendie et d'explosion).

Air à faible teneur en oxygène

Les dégagements potentiels d'azote et son accumulation dans les aires de travail peuvent créer des risques d'asphyxie provoqués par le déplacement d'oxygène causé par ce gaz. Les mesures de prévention et de lutte visant à réduire les risques d'asphyxie reposent notamment sur :

- la formulation et la mise en place de systèmes de dégazage de l'azote conformes aux normes industrielles reconnues ;
- l'installation d'un système automatique d'arrêt d'urgence pouvant détecter et signaler les dégagements incontrôlés

d'azote (y compris la présence d'air à faible teneur en oxygène dans les aires de travail⁸), et déclencher une ventilation forcée afin de réduire au minimum la durée des dégagements ; et,

- la mise en place des procédures d'entrée dans les espaces clos décrites dans les **Directives EHS générales** en tenant compte des risques propres aux installations.

Risques d'inhalation

Les risques d'exposition chimique dans les installations de transformation du charbon sont principalement liés à l'inhalation de poussière de charbon, de volatiles du brai, de monoxyde de carbone et d'autres vapeurs telles que les vapeurs de méthanol et d'ammoniaque. La poussière de charbon peut entraîner des lésions et des fibroses pulmonaires. L'exposition au monoxyde de carbone provoque la formation de carboxyhémoglobine (COHb) qui inhibe la capacité de transport de l'oxygène des globules rouges. Une exposition légère peut provoquer les symptômes suivants : céphalées, vertiges, baisse d'attention, mauvaise coordination main-œil, faiblesse, confusion, désorientation, léthargie, nausées et troubles de l'addition. Des expositions prolongées ou plus massives peuvent entraîner des pertes de conscience et la mort.

Les risques d'inhalation des émissions chimiques durant l'exploitation courante des installations doivent être gérés à la lumière des résultats d'une étude sur la sécurité et l'hygiène du travail et conformément aux directives en la matière qui figurent dans les **Directives EHS générales**. Les mesures de protection comprennent la formation du personnel, l'octroi d'un permis de travail, l'utilisation d'équipements de protection individuelle (EPI)

⁸ Les aires de travail susceptibles de contenir de l'air pauvre en oxygène doivent être équipées de systèmes de détection. Les ouvriers doivent avoir des dispositifs de contrôle individuel. Les deux types de systèmes doivent être dotés d'une alarme réglée pour se déclencher lorsque la concentration d'O₂ dans l'air tombe à moins de 19,5 pour cent.

et des systèmes de détection des gaz toxiques munis d'alarmes.

Risques d'incendie et d'explosion

Stockage et préparation du charbon

Le charbon est susceptible de se consumer spontanément, le plus souvent en raison d'une oxydation de la pyrite ou d'autres contaminants sulfurés qu'il renferme^{9, 10}. Les opérations de préparation du charbon peuvent également présenter un risque d'incendie et d'explosion du fait de la production de poussières qui peuvent s'enflammer en fonction de leur degré de concentration dans l'air et de la présence de sources d'inflammation. La poussière de charbon constitue donc un risque d'explosion majeur dans les installations de stockage et de manutention du charbon où des nuages de poussière peuvent se former dans les espaces clos. Des nuages de poussière peuvent aussi se former dans tous les endroits où s'accumulent des poussières de charbon libres, par exemple sur tous les rebords de structures. Les techniques recommandées pour prévenir et maîtriser les risques de combustion et d'explosion dans les entrepôts fermés consistent notamment à :

- aménager les parcs à charbon de manière à prévenir ou minimiser les probabilités d'inflammation, en particulier :
 - compacter les tas de charbon pour réduire le volume d'air qu'ils contiennent ;
 - réduire la durée de stockage au minimum ;
 - éviter de constituer les tas au-dessus de sources de chaleur telles que les conduites de vapeur et les regards ;
 - construire les entrepôts de stockage avec des matériaux non combustibles ;

- concevoir les entrepôts de stockage du charbon de façon à minimiser les surfaces sur lesquelles la poussière pourrait s'accumuler, et prévoir des systèmes de dépoussiérage ; et
- assurer une surveillance permanente des points chauds (combustion du charbon) au moyen de systèmes de détection de la température. Lorsqu'un point chaud est détecté, le charbon enflammé doit être évacué. Un accès doit être prévu pour la lutte anti-incendie ;
- éliminer les sources potentielles d'ignition, et veiller à la mise au sol des appareils pour minimiser les risques d'électricité statique. Toutes les machines et les équipements électriques situés à l'intérieur des zones de stockage fermées ou des entrepôts de charbon doivent être autorisés pour fonctionner dans des lieux dangereux et être équipés de moteurs anti-étincelles ;
- équiper tous les circuits électriques de systèmes d'arrêt automatique à distance ; et,
- installer un système de ventilation latérale adéquat dans les entrepôts fermés afin de réduire les concentrations de méthane, de monoxyde de carbone et de produits volatiles résultant de l'oxydation du charbon par l'air et de favoriser l'évacuation des fumées en cas d'incendie.

Les techniques recommandées pour prévenir et maîtriser les risques d'explosion résultant de la préparation du charbon dans des espaces clos visent notamment à :

- réaliser le criblage du charbon sec, le concassage, l'épuration par voie sèche, le broyage, la pulvérisation et les autres opérations qui produisent de la poussière en atmosphère d'azote ou avec d'autres méthodes permettant de prévenir les explosions, comme la ventilation ;

⁹ National Fire Protection Association (NFPA). Standard 850: Recommended Practice for Fire Protection for Electric Generating Plants and High Voltage Direct Current Converter Stations (2000).

¹⁰ NFPA. Standard 120: Standard for Fire Prevention and Control in Coal Mines (2004).

- Implanter les installations de manière à minimiser l'exposition des autres bâtiments et équipements à l'incendie et aux explosions;
- Envisager de contrôler la teneur humide du charbon avant son utilisation selon les exigences imposées par la technique de gazéification;
- Mettre en place un système de surveillance à sécurité intégrée des concentrations de méthane dans l'air, et interrompre les opérations lorsque la concentration de méthane atteint 40 pour cent de la limite inférieure d'explosion;
- Installer des systèmes de dépoussiérage capables de capter les émissions fugitives provenant du matériel ou des machines de manutention du charbon et assurer leur bon entretien.
- mettre en place de systèmes de détection précoce des dégagements, tels que des dispositifs de surveillance de la pression des gaz et des systèmes de transport de liquides, en plus des systèmes de lutte anti-incendie et de détection des fumées et de la chaleur;
- prévenir les dégagements potentiels en isolant les opérations industrielles des principales aires de stockage;
- prévenir les foyers d'incendie (notamment par une configuration des conduites permettant d'éviter les déversements sur des conduites à température élevée, des équipements et/ou des machines rotatives) ;
- limiter les effets d'explosions ou d'incendies éventuels en isolant et en éloignant suffisamment les unes des autres les zones de transformation, de stockage et de service et les zones sûres. Les distances de sécurité peuvent être déterminées à partir d'analyses de la sûreté des installations et être conformes aux normes de sécurité incendie internationalement reconnues¹¹;
- limiter les zones pouvant être touchées par des dégagements accidentels en :
 - définissant les zones d'incendie et en y installant un réseau de drainage pour collecter les liquides inflammables en cas de déversement accidentel, et les évacuer vers une zone de confinement sécurisée, y compris par une enceinte de confinement secondaire des cuves de stockage ;
 - renforçant les installations ou en les équipant de murs de protection contre le feu/les explosions lorsque les distances de séparation appropriées ne peuvent être respectées ; et,
 - prévoyant le système d'évacuation des effluents huileux de manière à éviter la propagation des feux.

Transformation du charbon

Les risques d'incendie et d'explosion liés à la transformation du charbon sont dus aux dégagements accidentels de gaz de synthèse (qui contient du monoxyde de carbone et de l'hydrogène), d'oxygène, de méthanol et d'ammoniaque. Les dégagements de gaz de synthèse à haute pression peuvent générer des jets enflammés, des explosions de nuages de vapeur, des boules de feu ou des embrasements éclairs selon le volume de gaz inflammable et le degré de confinement du nuage. L'hydrogène et le monoxyde de carbone peuvent s'enflammer même en l'absence d'une source d'ignition lorsqu'ils se situent à des températures de 500°C et 609°C respectivement. Les déversements de liquides inflammables peuvent provoquer des feux en nappe. Les mesures recommandées pour prévenir et maîtriser les risques d'incendie et d'explosion liés aux opérations industrielles ont notamment pour objet de :

¹¹ Par exemple, NFPA Standard 30: Flammable and Combustible Liquids Code (2003).

1.3 Santé et sécurité de la population

Les impacts de la construction et du déclassement/démantèlement des installations de transformation du charbon sur la santé et la sécurité de la population sont les mêmes que dans la plupart des branches d'activité et sont examinés dans les **Directives EHS générales**.

Les risques les plus graves pour la santé et la sécurité des populations locales sont ceux liés à l'exploitation des installations de transformation du charbon car de graves accidents peuvent résulter des incendies et des explosions ou encore de rejets accidentels de produits finis durant le transport à l'extérieur des installations. Les directives concernant la gestion de ces questions sont présentées ci-après et dans les sections pertinentes des **Directives EHS générales**, à savoir : gestion des matières dangereuses (y compris les risques graves), sécurité du transport, transport de matières dangereuses, et préparation à des situations d'urgence et interventions en cas d'urgence. De plus amples recommandations concernant les transports par mer et les transports ferroviaires ainsi que les installations côtières figurent dans les Directives EHS pour les transports maritimes, pour les transports ferroviaires, pour les ports et les terminaux et pour les terminaux pétroliers pour pétrole brut et dérivés.

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 des directives en matière d'effluents pour 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 agréés/reconnus. Ces directives sont réalisables, sous des conditions d'exploitation normales, dans les établissements conçus et exploités de manière appropriée, c'est-à-dire en appliquant les techniques de prévention et de contrôle examinées dans les sections précédentes du présent document.

Les directives relatives aux émissions s'appliquent aux émissions inhérentes au processus de production. 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 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**. Des informations sur les conditions ambiantes basées sur la charge totale des émissions sont présentées dans les **Directives EHS générales**.

Les valeurs de référence relatives aux effluents s'appliquent aux effluents traités, rejetés directement dans les eaux de surface destinées à un usage général. 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**. Ces niveaux doivent être atteints, pour des effluents non dilués, pendant au moins 95 % du temps d'exploitation de l'usine ou de l'unité considérée, calculé sur la base du nombre annuel d'heures d'exploitation. L'écart par rapport à ces niveaux pour tenir compte de conditions spécifiques et locales d'un projet doit être justifié dans l'évaluation environnementale.

Utilisation des ressources, consommation d'énergie, volume d'émission et production de déchets

On trouvera au tableau 3 des exemples d'indicateurs de consommation de ressources en eau et en énergie dans ce secteur. Le tableau 4 donne des exemples d'indicateurs de production d'émissions et de déchets. Les valeurs de référence utilisées pour la transformation du charbon sont indiquées uniquement à des fins de comparaison. Les projets industriels doivent s'efforcer d'améliorer systématiquement leurs performances dans ces domaines. Les valeurs de référence pour les installations de transformation du charbon peuvent être basées sur celles applicables à la gazéification du charbon pour les grandes centrales électriques. Les émissions des usines de gazéification produisant du gaz de synthèse destiné au procédé Fischer-Tropsch doivent être nettement inférieures étant donné le degré de pureté exigé pour le catalyseur synthétique.

Suivi des impacts environnementaux

Des programmes de suivi des impacts environnementaux doivent être mis en place de manière à couvrir toutes les

activités susceptibles d'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**.

Tableau 1. Émissions atmosphériques des usines de transformation du charbon

Polluant	Unité	Valeur de référence
Usines de préparation du charbon		
Particules des séchoirs thermiques	mg/Nm ³	70
Opacité des gaz de séchoirs thermiques	%	20
Particules du matériel d'épuration pneumatique du charbon	mg/Nm ³	40
Opacité des gaz du matériel d'épuration pneumatique	%	10
Transport, stockage et préparation – opacité des gaz	%	10
Émissions globales		
SO ₂	mg/Nm ³	150-200
NO _x	mg/Nm ³	200-400 ⁽¹⁾
Hg	mg/Nm ³	1,0
Matières particulaires	mg/Nm ³	30-50 ⁽¹⁾
COV	mg/Nm ³	150
Total métaux lourds	mg/Nm ³	1,5
H ₂ S	mg/Nm ³	10 ⁽²⁾
COS + CS ₂	mg/Nm ³	3
Ammoniaque	mg/Nm ³	30
Notes : 1. Valeur inférieure pour les usines produisant >100 MW équivalent ; valeurs supérieures pour les usines produisant <100 MW équivalent. 2. Émissions des unités Claus (Autriche, Belgique, Allemagne). - Les émissions industrielles doivent être examinées à la lumière des émissions de la centrale pour parvenir au niveau d'émissions global le plus faible pour l'ensemble de l'installation. - Gaz sec à 15% O ₂		

Tableau 2. Niveau d'effluents des usines de transformation du charbon

Polluant	Unité	Valeur de référence
pH		6 – 9
DBO ₅	mg/l	30
DCO	mg/l	150 (40 pour l'eau de refroidissement)
Azote ammoniacal (N)	mg/l	5
Total azote	mg/l	10
Total phosphore	mg/l	2
Soufre	mg/l	1
Huile et graisse	mg/l	10
SST	mg/l	35
Total métaux	mg/l	3
Cadmium	mg/l	0,1
Chrome (total)	mg/l	0,5
Chrome (hexavalent)	mg/l	0,1
Cuivre	mg/l	0,5
Cobalt	mg/l	0,5
Zinc	mg/l	1
Plomb	mg/l	0,5
Fer	mg/l	3
Nickel	mg/l	1
Mercur	mg/l	0,02
Vanadium	mg/l	1
Manganèse	mg/l	2
Phénol	mg/l	0,5
Cyanures	mg/l	0,5

Tableau 3. Consommation de ressources et d'énergie

Paramètre	Unité	Valeurs de référence industrielles
Électricité Consommation d'énergie électrique des usines de charbon-liquide	MW/h/tonnes métriques du total des produits charbon-liquide	0,05 – 0,1
Consommation d'énergie électrique des usines de production de méthanol	MW/h/tonnes métriques de méthanol	0,07

Tableau 4. Émissions et production de déchets ⁽¹⁾

Paramètre	Unité	Valeurs industrielles de référence
SO ₂	g/Nm ³ de SynGas	0,3 - 0,5
SO ₂ (charbon-méthanol-GNL) ⁽⁴⁾	tonnes/jour	6-14
SO ₂ (Fischer-Tropsch) ⁽⁴⁾	tonnes/jour	9-14
NO _x	g/Nm ³ de SynGas	0,35-0,6
NO _x (charbon-méthanol-GNL) ⁽⁴⁾	tonnes/jour	5-15,5
NO _x (Fischer-Tropsch) ⁽⁴⁾	tonnes/jour	5-23,6
PM ₁₀	g/Nm ³ de SynGas	0,12
Particules (charbon-méthanol-GNL) ⁽⁴⁾	tonnes/jour	0,5-7,5
Particules (Fischer-Tropsch) ⁽⁴⁾	tonnes/jour	1-6
CO ₂ ⁽²⁾⁽³⁾	kg/kg de charbon	1,5
CO ₂ (charbon-méthanol-GNL et Fischer-Tropsch) ⁽⁴⁾	tonnes/jour	21,000
Ammoniaque	g/Nm ³ de SynGas	0,004
Déchets solides (cendres, scories et soufre) ⁽²⁾	kg/tonne de charbon	50 – 200
Notes :		
1. Production: 1.300 – 1.500 Nm ³ de SynGas/tonne de charbon		
2. Selon la classe et la teneur du charbon; calculé pour un PRG = 30 GJ/kg		
3. Sans captage et piégeage du carbone		
4. D'après: Edgar, T.F. (1983). Pour une usine de liquéfaction du charbon de 50.000 barils/jours		

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 rapport 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 American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH)¹², *Pocket Guide to Chemical Hazards* publié par United States National Institute for Occupational Health and Safety (NIOSH)¹³, les valeurs plafonds autorisées (PEL) publiées par Occupational Safety and Health

¹² Consulter: <http://www.acgih.org/TLV/> et <http://www.acgih.org/store/>

¹³ Consulter: <http://www.cdc.gov/niosh/npg/>

Administration of the United States (OSHA)¹⁴, les valeurs limites d'exposition professionnelle de caractère indicatif publiées par les États membres de l'Union européenne¹⁵, ou d'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 des pays développés opérant dans la même branche d'activité. Ces chiffres sont présentés dans des publications statistiques (par exemple US Bureau of Labor Statistics et UK Health and Safety Executive)¹⁶.

Suivi de l'hygiène et de la sécurité au travail

Il est nécessaire d'assurer le suivi des risques professionnels liés aux conditions de travail dans le cadre du projet considéré. Ces activités doivent être conçues et poursuivies par des experts agréés¹⁷ 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**.

¹⁴ Consulter : http://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_table=STANDARDS&p_id=9992

¹⁵ Consulter: http://europe.osha.eu.int/good_practice/risks/ds/oel/

¹⁶ Consulter: <http://www.bls.gov/iif/> et <http://www.hse.gov.uk/statistics/index.htm>

¹⁷ 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 et sources d'information supplémentaires

Banque européenne pour la reconstruction et le développement (BERD). Sub-sectoral Environmental Guidelines: Coal Processing. Londres : BERD. Disponible à <http://www.ebrd.com>

Commission européenne 2006. European Integrated Pollution Prevention and Control Bureau (EIPPCB). Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Large Combustion Plants. Juillet 2006. Séville, Espagne : EIPPCB. Disponible à <http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm>

Commission européenne. 2003. European Integrated Pollution Prevention and Control Bureau (EIPPCB). Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Mineral Oil and Gas Refineries. Février 2003. Séville, Espagne : EIPPCB. Disponible à <http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm>

Edgar, T.F. 1983. Coal Processing and Pollution Control. Houston: Gulf Publishing Company.

German Federal Ministry of the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety (BMU). 2002. First General Administrative Regulation Pertaining to the Federal Emission Control Act (Technical Instructions on Air Quality Control – TA Luft). Bonne: BMU. Disponible à http://www.bmu.de/english/air_pollution_control/ta_luft/doc/36958.php

Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). 2006. Special Report, Carbon Dioxide Capture and Storage, March 2006. Genève: GIEC.

Kirk-Othmer, R.E. 2006. Encyclopedia of Chemical Technology. 5th Edition. New York: John Wiley and Sons Ltd.

Lockhart, N. 2002. Advances in Coal Preparation. Londres : Conseil mondial de l'énergie. Disponible à http://www.worldenergy.org/wec-geis/publications/default/tech_papers/17th_congress/1_2_02.asp

National Fire Protection Association (NFPA). 2004. Standard 120: Standard for Fire Prevention and Control in Coal Mines. 2004 Edition. Quincy, MA: NFPA.

NFPA. 2000. Standard 850: Recommended Practice for Fire Protection for Electric Generating Plants and High Voltage Direct Current Converter Stations. 2000 Edition. Quincy, MA: NFPA.

NFPA. 2003. Standard 30: Flammable and Combustible Liquids Code. 2003 Edition. Quincy, MA: NFPA.

Northeast States for Coordinated Air Use Management (NESCAUM). 2003. Mercury Emissions from Coal -Fired Power Plants: The Case for Regulatory Action. Octobre 2003. Boston, MA: NESCAUM

Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. 2005. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. Disponible à <http://www.wiley-vch.de/vch/software/ullmann/index.php?page=home>

United States (US) Environmental Protection Agency (EPA). 2005. 40 CFR Part 60, Standards of Performance for New and Existing Stationary Sources: Electric Utility Steam Generating Units, Clean Air Mercury Rule. Washington : US EPA.

United States Congress. 2005. Clean Skies Act of 2005. (Inhofe, S.131 in 109th Congress). Washington: Library of Congress. Disponible à <http://thomas.loc.gov/cgi-bin/query/z?c109:S.131>

University of New Hampshire Recycled Materials Resource Center (RMRC). Coal Bottom Ash/Boiler Slag. Disponible à <http://www.rmrc.unh.edu/>

US EPA. 40 CFR Part 434—Coal Mining Point Source Category BPT, BAT, BCT Limitations and New Source Performance Standards. Washington : US EPA.

US EPA. 40 CFR Part 60. Standards of Performance for New Stationary Sources. Subpart Y—Standards of Performance for Coal Preparation Plants. Washington : US EPA.

Zhu D. and Y. Zhang. Major trends of new technologies for coal mining and utilization beyond 2000 - Technical scenario of the chinese coal industry. China Coal Research Institute, Ministry of Coal Industry, Beijing, Chine. Disponible à http://www.worldenergy.org/wec-geis/publications/default/tech_papers/17th_congress/3_1_11.asp

Annexe A — Description générale des activités

La transformation du charbon en produits chimiques gazeux ou liquides, y compris des carburants, implique les procédés et les installations auxiliaires suivantes :

- gazéification du charbon pour la production de gaz de synthèse – SynGas (CO + H₂)
- liquéfaction indirecte (par exemple procédé Fischer-Tropsch pour la production de carburants automobiles à partir de gaz de synthèse)
- ammoniacque issue de gaz de synthèse
- méthanol issu de gaz de synthèse
- liquéfaction directe (par exemple la liquéfaction du charbon par hydrogénation directe).

Charbon

Le charbon est l'une des sources d'énergie les plus abondantes au monde, et son exploitation augmentera probablement à mesure que les techniques d'évacuation des gaz à effet de serre, en particulier le CO₂, se développent. Le charbon se présente sous des formes et des qualités très diverses. On reconnaît différentes classes de charbon en fonction du degré de conversion des matières végétales, appelée carbonification. La houille brune ou lignite, le charbon subbitumineux, le charbon bitumineux et l'anhracite constituent les différentes classes dont chacune présente une teneur croissante en carbone. La classification de l'American Society for Testing and Materials (ASTM) fait l'objet du Tableau A.1.¹⁸

Le charbon ayant une teneur en carbone fixe inférieure à 69 pour cent est classé en fonction de sa puissance calorifique brute (PCB) :

- **Charbon bitumineux** si la PCB > 24.400 kilojoules par kilogramme (kJ/kg), agglutinant
- **Charbon subbitumineux** si 19.300 kJ/kg < PCB < 26.700 kJ/kg, non agglutinant
- **Lignite** si 14.600 kJ/kg < PCB < 19.300 kJ/kg, non-agglutinant.

Tableau A.1. Classification ASTM du charbon

		Carbone fixe ⁽¹⁾ (%)		Matières volatiles ⁽¹⁾ (%)	
		min	max	min	max
Anthracite Non-agglutinant	Méta-anhracite	98			2
	Anthracite	92	98	2	8
	Semi-anhracite	86	92	8	14
Bitumineux Généralement agglutinant	Volatilité faible	78	86	14	22
	Volatilité moyenne	69	78	22	31
	Forte volatilité		69	31	
Notes :					
⁽¹⁾ Sur la base d'une matière sèche sans matière minérale					

Aux fins des échanges internationaux et dans l'Union européenne, des systèmes de classification distincts ont été arrêtés pour le charbon dur (anthracite), la houille brune et le lignite.

Les impuretés présentes dans le charbon, principalement sous forme de soufre, d'azote et de cendres, déterminent son classement. La teneur en soufre des charbons commerciaux correspond dans la plupart des cas à 0,5-4,0 pour cent de leur poids, principalement sous forme de sulfate, de pyrite et de soufre organique. Leur teneur en azote se situe généralement entre 0,5-2,0 % du poids. L'azote ne peut être extrait par des moyens physiques, car il est principalement lié à des molécules organiques. La cendre de charbon est issue de la teneur minérale du charbon après combustion ou utilisation. Les cendres de charbon peuvent contenir de l'arsenic, du béryllium,

¹⁸ Kirk-Othmer, Encyclopedia of Chemical Technology, 5th Edition (2006).

du cadmium, du chrome, du cuivre, du fluor, du plomb, du manganèse et du mercure à l'état de traces.

Gazéification du charbon

Les usines de gazéification du charbon sont de tailles très différentes en fonction de la destination finale du gaz de synthèse qu'elles produisent. Dans la fabrication des produits chimiques, leur capacité nominale correspond généralement à un taux d'alimentation de 1 500-2 000 tonnes/jour de charbon. Ces capacités peuvent être plus importantes encore, notamment pour la production de méthanol. S'agissant de la fabrication de carburant liquide, les installations actuelles consomment 120 000 tonnes/jour (près de 40 mégatonnes par an, Mt/a) de charbon pour produire 160 000 barils par jour (barils/jour), à savoir environ 10 Mt/a d'équivalents pétrole de carburant liquide.

Logistique et préparation du charbon

Les grandes usines de transformation du charbon en kérosène sont généralement situées à proximité des mines de charbon, et partagent leurs installations et leurs aires de stockage. Le charbon est généralement acheminé par convoyeur vers les soutes à charbon, les réservoirs et les trémies. Les petites usines peuvent être implantées loin des mines. Dans ce cas, le charbon est transporté par voie ferroviaire, par bateau ou par pipeline à solides, et il est entreposé en tas. De manière générale, le charbon doit être préparé avant son expédition et son utilisation, en fonction des caractéristiques de la mine et du charbon et de la technique d'extraction.¹⁹ La préparation du charbon fait l'objet des **Directives EHS pour l'exploitation minière**. Avant son utilisation, le charbon entreposé à l'usine de transformation est converti sous la forme nécessaire par le réacteur de production de gaz de synthèse ; ces formes varient

en fonction de la technique de production. Les opérations comprennent généralement le séchage et la comminution du charbon (concassage, broyage ou pulvérisation).

Usine de production de gaz de synthèse

La gazéification du charbon repose sur la réaction du charbon à l'oxygène, à la vapeur et au dioxyde de carbone en vue de la production d'un produit gazeux (le gaz de synthèse) qui contient de l'hydrogène et du monoxyde de carbone. Pour l'essentiel, la gazéification implique une combustion incomplète en milieu réducteur. En termes opérationnels, la principale différence avec la combustion complète du charbon réside dans le fait que la gazéification consomme la chaleur produite pendant la combustion. Dans le milieu réducteur de la gazéification, le soufre contenu dans le charbon est libéré sous forme d'hydrogène sulfuré et non de dioxyde de soufre, et l'azote contenu dans le charbon est principalement converti en ammoniac plutôt qu'en oxydes d'azote. Ces formes réduites de soufre et d'azote sont facilement isolées, captées et utilisées.

Selon le type de gazogène utilisé et les conditions d'exploitation, la gazéification permet de produire un gaz de synthèse adapté à de très nombreuses applications. Un schéma simplifié du procédé de gazéification est présenté à la Figure A.1.

Le charbon préparé est envoyé dans le gazogène avec de l'oxygène et de la vapeur. En fonction du type de gazogène, le gaz de synthèse en sortie de réacteur peut être trempé et refroidi, et la chaleur est récupérée sous forme de vapeur à haute pression. Les cendres sont récupérées au fond du réacteur, en même temps que le goudron, sous forme de solides ou de scories, selon le procédé utilisé. Le gaz de synthèse est mélangé à la vapeur et vient alimenter le convertisseur afin d'amener le ratio H_2/CO à la valeur voulue. Le gaz de synthèse est ensuite épuré et débarrassé du H_2S , CO_2 , COS , NH_3 , HCN en fonction des spécifications requises. Trois

¹⁹ Lockhart, N., Conseil mondial de l'énergie. *Advances in Coal Preparation* (2002).

grands types de réacteurs de gazéification sont utilisés : les réacteurs à lit fixe, les réacteurs à lit fluidisé et les réacteurs à lit entraîné.

Les réacteurs à lit fixe

Les gazogènes à lit fixe et à contre-courant comptent parmi les premiers réacteurs mis au point. Dans ce procédé, l'air et la vapeur sont introduits par le bas du gazogène et remontent à travers un lit de charbon. Le charbon est chargé sur le dessus du lit, et redescend à contre-courant du flux gazeux. Les lits fixes présentent plusieurs avantages. Le flux de gaz chauds ascendants provenant de la zone de combustion préchauffe le charbon, d'où des gains du point de vue de l'efficacité du chauffage. On réalise une conversion à forte teneur en carbone en assurant l'écoulement-tampon des solides dans les zones de gazéification et de combustion, et par un temps de séjour relativement long du combustible dans le réacteur. Le gaz produit sort à une température relativement faible et n'est pas contaminé par des solides. Toutefois, il peut contenir des huiles et du goudron susceptibles d'endommager les équipements utilisés en aval.

L'inconvénient des gazogènes à lit fixe réside dans leur incapacité à traiter le charbon gras ou agglutinant (par exemple le charbon bitumineux) qui a tendance à gonfler et à s'agglutiner au chauffage. Ces charbons peuvent perturber les flux de gaz et de solides et faire échouer le procédé.

Les réacteurs à lit fluidisé

Les gazogènes à lit fluidisé contribuent à l'amélioration du mélange et à l'uniformité des températures, ce qui permet à l'oxygène de réagir avec les produits volatils de dégagement. Dans les gazogènes à lit fluidisé de type sec, les températures doivent être maintenues en dessous du point de fusion des cendres, d'où une conversion incomplète du carbone dans les

charbons non réactifs. Les gazogènes de cendres agglutinantes tournent à des températures plus élevées (jusqu'à 1 150 °C), proches du point d'amollissement des cendres, ce qui permet une meilleure conversion du carbone et la gazéification des charbons non réactifs des classes élevées et des charbons agglutinants. L'augmentation des températures favorise la gazéification, la production de charbon et le rendement. Le principal avantage des gazogènes à lit fluidisé est qu'il permet d'exploiter les charbons agglutinants ainsi que des charbons de moindre qualité à forte teneur en cendres. En outre, un gazogène à lit fluidisé peut être utilisé pour une large gamme de charges et de produits sans baisse importante de rendement.

Les réacteurs à lit entraîné

Avec ce type de réacteur, les gazogènes peuvent être de plusieurs types : sec, pressurisé, à oxygène pulsé, à lit entraîné à cendres fondues. Le charbon est séché et pulvérisé en particules d'un diamètre < 0,1 mm, avant d'être chargé dans le gazogène avec un gaz de transport qui est généralement de l'azote. Le charbon, l'oxygène et la vapeur sont introduits dans le gazogène par des brûleurs horizontalement opposés. Le gaz combustible brut résultant de la réaction de gazéification à haute température monte en entraînant des particules composées de cendres et d'une petite quantité de carbone inaltéré.

La température élevée du réacteur convertit les cendres restantes en scories fondues qui s'écoulent le long des parois du gazogène pour passer ensuite dans un bain de refroidissement. À la sortie du réacteur, le gaz combustible brut peut être trempé avec du gaz combustible refroidi et recyclé pour abaisser sa température au-dessous du point de fusion des cendres, et éviter l'entrée de solides poisseux dans le refroidisseur du gaz combustible brut. Le refroidisseur de gaz brut rafraîchit encore le gaz et produit de la vapeur à haute

pression qui est envoyée dans le cycle générateur de vapeur. Les solides sont récupérés dans les filtres à particules et renvoyés dans le réacteur. Ce type de réacteur peut facilement traiter toutes les classes de charbon.

Liquéfaction indirecte du charbon

Production d'hydrocarbures liquides

Les procédés Fischer-Tropsch permettent de produire un pétrole brut de synthèse (syncrude) et des oléfines légères, ou des hydrocarbures lourds paraffineux. Le Syncrude peut être raffiné en essence ou en gasoil ; les hydrocarbures lourds peuvent être transformés en cires spéciales de paraffine ; s'ils sont hydrocraqués et/ou isomérisés, ils servent à la production de gasoil, d'huiles de graissage et de naphte, une matière première utilisée pour le craquage des oléfines. On utilise des catalyseurs à base de fer enrichis de potassium et de cuivre.

Les réacteurs généralement utilisés dans le procédé Fischer-Tropsch sont des réacteurs à basse température (LTFT, réacteurs à combustible en suspension) et les réacteurs à haute température (HTFT, réacteurs à lit fluidisé).

Les **réacteurs à combustible en suspension** se composent d'une cuve contenant une suspension paraffineuse issue du procédé ainsi qu'un catalyseur. Le gaz de synthèse barbote dans le lit de combustible en suspension dans les conditions types du procédé, à savoir entre 220–250 °C et 2,5–4,5 mégapascals (MPa), et il est converti en hydrocarbure. La chaleur produite passe de la suspension aux serpentins refroidisseurs à l'intérieur du réacteur pour créer de la vapeur. Les hydrocarbures légers en phase gazeuse sont enlevés de l'espace libre au sommet du réacteur avec les réactifs non convertis, et sont condensés dans le train de condensation en aval. Les hydrocarbures liquides et plus lourds se mélangent à la suspension d'où ils sont éliminés par séparation des solides.

Les **réacteurs à lit fluidisé** se composent d'une cuve contenant un lit fluidisé constitué d'un catalyseur fondu à faible teneur en fer. Au moyen d'un distributeur de gaz, le gaz de synthèse barbote dans le lit fluidisé où il est converti par catalyse en hydrocarbures qui sont en phase gazeuse dans les conditions du procédé, soit environ 340 °C et 2.5 MPa. Les produits et les gaz non convertis sortent du réacteur par les cyclones internes.

Alkylation

L'alkylation a pour objet de produire un carburant de haute qualité. Ce terme se rapporte à la réaction à l'isobutane des oléfines qui forment alors des isoparaffines d'un poids moléculaire plus important et d'un indice d'octane élevé. Le procédé repose sur une réaction à basse température réalisée en présence d'acides forts : acide fluorhydrique (HF) ou acide sulfurique (H₂SO₄).

Isomérisation

L'isomérisation est un procédé employé pour modifier l'arrangement des molécules sans changer leur composition initiale. Les paraffines de faible poids moléculaire (C₅ – C₆) sont converties en isoparaffines qui ont un indice d'octane bien plus élevé. Trois types de catalyseurs sont actuellement utilisés à cet effet : l'alumine avec ajout de chlorure, les catalyseurs zéolitiques et les catalyseurs de zirconium sulfaté.

Craquage catalytique

Le craquage catalytique est utilisé pour transformer les hydrocarbures lourds en hydrocarbures plus précieux ayant une température d'ébullition plus basse. Le procédé repose sur l'utilisation de chaleur et d'un catalyseur pour fragmenter les grosses molécules d'hydrocarbures en molécules plus petites et plus légères. Les unités de craquage catalytique fluide sont couramment utilisées et se composent de trois sections : un

réacteur-régénérateur comprenant une soufflante et une chaudière de récupération de chaleur; le fractionnateur principal qui comprend un compresseur de gaz par voie humide ; et la section des gaz insaturés. Dans le procédé de craquage catalytique fluide, les huiles et la vapeur d'huile préchauffées entre 250 et 425°C sont mises en contact avec un catalyseur chaud (zéolite) à 680–730°C environ dans le réacteur à colonne montante. Pour faciliter la vaporisation, puis le craquage, la charge d'alimentation est atomisée à la vapeur. Le craquage intervient à des températures situées entre 500 et 540°C et à une pression de 1,5-2,0 bar g. Les catalyseurs utilisés dans le craquage catalytique sont le plus souvent des zéolites avec ajout de métaux et de silice-alumine synthétique amorphe.

Hydrogénation oxygénée

Dans ce procédé, des composés oxygénés sont hydrogénés dans un mélange d'alcools.

Production d'ammoniaque

Les usines de production d'ammoniaque (NH₃) peuvent être autonomes ont intégrées à d'autres installations, en règle générale avec des unités de production d'urée et de méthanol. La production d'hydrogène et/ou de monoxyde de carbone peut aussi être intégrée aux usines d'ammoniaque. L'ammoniaque est produite par la réaction exothermique de l'hydrogène et de l'azote. Cette réaction intervient en présence de catalyseurs d'oxydes métalliques à haute pression. L'azote utilisé vient de l'air ambiant et peut être utilisé à l'état naturel, sous forme d'air comprimé, ou en tant qu'azote pur provenant d'un séparateur à air. L'hydrogène provient de diverses sources comme le gaz naturel, le pétrole brut, la naphte ou les gaz de dégagement issus de la transformation du charbon.

La production d'ammoniaque à partir de gaz de synthèse comprend les étapes suivantes : élimination du soufre présent à

l'état de traces dans la charge d'alimentation; reformage primaire et secondaire ; conversion catalytique du monoxyde de carbone; soutirage du dioxyde de carbone; méthanisation; compression; synthèse de l'ammoniaque et réfrigération du produit ammoniacé. Le carbone est soutiré sous forme de dioxyde de carbone concentré (CO₂) qui peut servir à la fabrication d'urée ou à d'autres utilisations industrielles afin de ne pas l'évacuer dans l'atmosphère. Les catalyseurs utilisés dans le procédé industriel peuvent contenir du cobalt, du molybdène, du nickel, des oxydes de fer/chrome, des oxydes de cuivre/zinc et du fer.

Citons deux filières non conventionnelles : l'ajout d'air supplémentaire au stade du reformage secondaire avec extraction cryogénique du surplus d'azote ; et la reformage autothermique par échange de chaleur. Cette dernière filière présente des avantages au plan environnemental compte tenu d'une cuisson moins longue dans le reformage primaire et de la possibilité de réduire la consommation d'énergie.

Production de méthanol

La synthèse du méthanol repose sur la réaction, le recyclage des gaz et leur épuration. Dans la réaction, le monoxyde de carbone et l'hydrogène entrent en réaction à environ 250°C et 50-80 bars, en présence d'un catalyseur à base de cuivre, pour produire du méthanol. Les réacteurs disponibles dans le commerce sont des réacteurs catalytiques à lit fixe tubulaire ou à lits multiples adiabatiques avec écoulement radial. En aval du réacteur, le méthanol est condensé et le gaz non converti est recyclé vers l'unité de production de gaz de synthèse.

L'épuration est réalisée au moyen de deux tours de fractionnement où les fractions lourdes et légères (alcools de poids moléculaire élevé) sont éliminées du méthanol. Les fractions légères sont généralement récupérées sous forme de gaz combustible, tandis que les fractions lourdes sont

incinérées dans une chaudière à vapeur au moyen d'un brûleur spécial.

Liquéfaction directe du charbon

De nombreux pays ont réalisé des travaux de recherche-développement sur la liquéfaction directe du charbon. La plupart des procédés en cours de développement reposent sur l'hydrogénation par catalyse du charbon dispersé et partiellement dissous dans un solvant organique. La réaction dépend très largement de la classe, de la teneur et de l'âge du charbon. Pour les charbons de basse classe, les mélanges d'eau, d'hydrogène et de CO (gaz de synthèse) sont les agents d'hydrogénation les plus efficaces. L'empoisonnement des catalyseurs par les impuretés de charbon pose problème, tout comme le traitement des eaux usées. De grandes usines pilotes et des usines de démonstration ont été exploitées avec de bons résultats.

Figure A.1: Schéma de la gazéification du charbon

