

Directives environnementales, sanitaires et sécuritaires pour la fabrication des polymères dérivés du pétrole

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 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

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.

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 s'appliquent à la fabrication des polymères dérivés du pétrole. Ce procédé consiste à polymériser des monomères pour produire des produits finis sous forme de granulés destinés à un usage industriel².

Ce document se compose des sections ci-après :

² Ces directives ne concernent pas les unités de production d'élastomères et de fibres.

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 fabrication des polymères, et contient des recommandations relatives à leur gestion. Les recommandations relatives à la gestion des questions communes à la plupart des projets de grande envergure durant les phases de construction et de démantèlement figurent dans les **Directives EHS générales**.

1.1 Environnement

Les problèmes environnementaux qui peuvent résulter de la fabrication de polymères rentrent dans les catégories suivantes :

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

Emissions atmosphériques

Composés organiques volatils (COV) émis lors du séchage et de la finition

Les émissions atmosphériques types des unités de production de polymères sont les composés organiques volatils (COV) émis lors du séchage, de la finition et des rejets dans l'atmosphère. Les mesures recommandées pour maîtriser les émissions de COV lors du séchage et de la finition consistent notamment à :

- Séparer et purifier les polymères en aval du réacteur³.
- Récupérer après détente les solvants et les monomères.
- Effectuer une distillation à la vapeur ou à l'azote chaud.
- Prévoir des dispositifs de dégazage dans les extrudeuses, éventuellement sous vide.
- Condenser les COV à basse température ou sur des lits d'adsorption, avant de rejeter dans l'atmosphère l'air d'échappement. Recycler lors du séchage l'air d'échappement ou l'azote, avec condensation des COV.
- Utiliser des systèmes de purge à l'azote en circuit fermé. Utiliser des extrudeuses avec système de dégazage et de collecte des effluents gazeux dans les unités de production des polyoléfines, en raison des risques d'incendies liés à l'inflammabilité des hydrocarbures et aux températures élevées des procédés.
- Recueillir et purifier avant leur rejet dans l'atmosphère les gaz d'échappement émis par les réacteurs, les réservoirs de décompression et les colonnes de distillation, car ils contiennent des quantités non négligeables de chlorure de vinyle monomère (CVM). Dans les unités de fabrication de polychlorure de vinyle (PVC) utilisant le procédé par suspension, l'eau contenant des niveaux significatifs de CVM (ex. eau servant au nettoyage des réacteurs, des tuyauteries de transfert et des réservoirs contenant la suspension ou le latex) doit être traitée dans une colonne de distillation afin d'en éliminer le CVM.
- Dans les unités de fabrication de PCV utilisant le procédé par suspension, utiliser des colonnes de distillation spécialement conçues pour épurer les suspensions.
- Dans les unités de fabrication de PVC utilisant le procédé par émulsion, produire des latex stables et utiliser des technologies de distillation appropriées combinant la

³ L'efficacité de la purification dépend de nombreux facteurs, notamment la volatilité des COV, les propriétés des polymères et le type de polymérisation utilisé.

polymérisation en émulsion et le séchage par atomisation en cycle ouvert.

- Dans les unités de production de polystyrène et de polymères styréniques en général⁴, utiliser un système multi-étages de dévolatilisation sous vide du polymère en fusion pour réduire la quantité de monomères résiduels^{5,6}.
- Les monomères acryliques ayant une odeur très forte, piquante et à faible seuil de détection, éviter les déversements et les fuites lors de la polymérisation par émulsion de ces monomères⁷.
- Dans les unités de production de polyéthylène téréphthalate (PET), traiter les gaz résiduels par oxydation catalytique ou toute autre technique équivalente.
- Dans les unités de production de polyamide, utiliser un épurateur par voie humide pour traiter les gaz d'échappement.
- Pour tous les procédés de fabrication de polymères thermodurcissables, traiter les effluents gazeux et liquides par catalyse ou traitement thermique.
- Dans les unités de fabrication de résine de formaldéhyde de phénol (bakélite), installer des systèmes en circuit fermé avec condensation de vapeur et purification des échappements, en raison de la forte toxicité des deux principaux monomères.
- Traiter les COV issus des sections de finition et des échappements des réacteurs par incinération catalytique ou thermique avant rejet dans l'atmosphère. Pour les COV chlorés, l'incinération doit garantir des niveaux d'émission de dioxines et de furanes conformes aux limites indiquées Tableau 1.

COV produits par les purges

⁴ Cette situation est due à la volatilité relativement basse du monomère (styrène) ou du solvant (éthylbenzène) comparée aux faibles concentrations requises par le procédé (ex. produit à usage alimentaire).

⁵ Directive 2002/72/CE de la Commission et amendements.

⁶ Food, Drug and Cosmetic Act modifié par le Food Additive Regulation 21 CFR.

⁷ US EPA : Technology Transfer Network, Air Toxics Website, Ethyl acrylate

Les purges s'effectuent lors de la purification des matières premières, du remplissage et de la vidange des réacteurs et autres équipements, de l'élimination des sous-produits des réactions lors de la polycondensation, du fonctionnement des pompes à vide et de la dépressurisation des cuves. Les mesures de prévention et de dépollution recommandées consistent, notamment, à :

- Traiter les vapeurs par compression ou réfrigération et condensation des composants liquéfiables ou envoyer ces vapeurs vers un système de torchage à haute performance assurant une destruction efficace des composants.
- Envoyer les gaz incondensables vers un système de combustion des gaz résiduels spécialement conçu pour assurer la combustion complète. Ce système doit produire peu d'émissions et éviter la formation des dioxines et des furanes.
- Dans les usines de production de PVC, recueillir les gaz pollués au CVM (air et azote) provenant de la section de récupération du CVM pour les traiter par absorption ou adsorption, par incinération, selon des techniques reconnues internationalement, ou par oxydation catalytique ou thermique, avant rejet dans l'atmosphère.
- Dans les usines de fabrication de polystyrène à haute résistance aux chocs (HIPS pour *High Impact Polystyrene Sheets*), réduire au minimum les émissions atmosphériques issues de la dissolution du polybutadiène à l'aide systèmes continus, de circuits d'équilibrage de vapeur et de traitement des gaz d'échappement.
- Dans les unités de production de polyester insaturé et de résines alkydes, traiter par oxydation thermique les gaz résiduels. Si la concentration des émissions le permet, traiter ces gaz par adsorption sur charbon actif.
- Utiliser des épurateurs au glycol ou des systèmes de sublimation pour récupérer les vapeurs d'anhydrides

émises lors des purges des réservoirs contenant du polyester insaturé et des résines alkydes.

- Lors de la production de résines phénoliques, récupérer ou incinérer les émissions contaminées par les COV, en particulier celles provenant des échappements des réacteurs.
- Lors de la fabrication du polyamide aliphatique, utiliser, en même temps que l'oxydation thermique, des épurateurs par voie humide, des condenseurs ou des absorbeurs au charbon actif.

COV issus de sources diffuses

Les émissions diffuses dans les usines de production de polymères sont principalement dues aux fuites de COV provenant des tuyauteries, vannes, raccords, brides, joints, conduites ouvertes, réservoirs de stockage à toit flottant, joints de pompes, joints de compresseurs (ex. d'éthylène et de propylène), gazoducs, soupapes de détente. Les dégagements de COV sont également dus aux opérations de chargement/déchargement des matières premières et des produits chimiques (ex. dans des réservoirs à toit conique), à la préparation et au mélange de produits chimiques (ex. préparation de solutions de catalyseurs ou d'initiateurs de polymérisation et additifs pour polymères) et au traitement des eaux usées. Les procédés doivent être conçus de manière à réduire au minimum les émissions diffuses de gaz toxiques et d'hydrocarbures gazeux. Les mesures recommandées concernant les COV et les émissions diffuses figurent dans les **Directives EHS générales**. Les pratiques spécifiques à ce secteur industriel consistent notamment à :

- Lors de la fabrication du polyéthylène sous haute pression, récupérer et recycler les fuites de monomères provenant des compresseurs à piston vers l'étage basse pression.

- Lors de la fabrication du polychlorure de vinyle, diminuer la fréquence d'ouverture des réacteurs lors de la maintenance et automatiser le nettoyage.

Particules en suspension

Les particules en suspension (i.e. fines de polymères ou additifs tels que des anticollants, etc.) sont émises lors du séchage et de l'emballage des polymères. Les autres sources de particules sont la manutention, le transfert et le dépoussiérage des granulés. Les mesures recommandées de lutte contre les particules consistent notamment à :

- Optimiser la conception des sécheurs.
- Utiliser des circuits fermés de gaz.
- Réduire les particules à la source (ex. transfert lors de la granulation) et les éliminer par décantation.
- Installer des précipitateurs électrostatiques, des filtres à poches ou des épurateurs par voie humide.
- Installer des systèmes d'ensachage automatiques et une ventilation efficace lors des opérations de conditionnement.
- Mettre en œuvre les bonnes pratiques de nettoyage.

Dégazage et torchage

Dans les installations de fabrication de polymères, le torchage et le dégazage sont des mesures de sécurité importantes visant à assurer que les gaz, qu'ils proviennent des aires de production ou des aires de stockage, 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 gaz émis lors des purges d'urgence des réacteurs et autres équipements critiques doivent être acheminés avant rejet vers des réservoirs de décompression où les réactifs seront récupérés (ex. par distillation à la vapeur ou sous vide) ou faire l'objet d'une épuration avant brûlage à la torche. Les pratiques spécifiques à ce secteur industriel consistent notamment à :

- Dans les unités de fabrication du polyéthylène basse densité (PEBD) et du polyéthylène linéaire à basse densité, l'éthylène dégagé par la rupture du disque de sécurité du réacteur à haute pression ne peut pas être brûlé à la torche, mais doit être évacué dans l'atmosphère par une cheminée, après dilution à la vapeur et refroidissement à l'eau pour réduire au minimum les risques de formation de nuages explosifs. Il est recommandé d'installer des systèmes de sécurité commandés par des capteurs de détonation.
- Installer des soupapes de sécurité dans les usines de polymérisation pour réduire la quantité de produits chimiques dégagés lors du fonctionnement des clapets de surpression, quand le rejet se fait directement dans l'atmosphère.
- Les polymères peuvent colmater les tuyauteries, il est donc recommandé d'installer des systèmes de sécurité redondants et de procéder à des visites régulières. Les circuits comportant des soupapes de sécurité doivent être protégés en amont par des dispositifs d'arrêt permettant d'éviter les pertes et les colmatages. Installer des raccords pour vérifier le fonctionnement des systèmes de sécurité lors du fonctionnement de l'usine.
- Lors de la fabrication du polychlorure de vinyle, réduire au minimum les dégazages d'urgence dans l'atmosphère en cas d'emballage des réacteurs de polymérisation :
 - installer des instruments de contrôle de l'alimentation des réacteurs et des conditions de fonctionnement ;
 - utiliser des inhibiteurs chimiques pour arrêter la réaction ;
 - prévoir un refroidissement d'urgence du réacteur ;
 - prévoir une alimentation électrique de secours pour l'agitateur du réacteur ;
- acheminer les rejets d'urgence vers le système de récupération du CVM⁸.
- Réduire, par l'ajout d'un agent anti-moussant, la mousse formée lors d'un rejet en urgence dans l'atmosphère afin d'éviter de colmater le circuit de mise à l'air libre.
- Lors d'un rejet en urgence dans l'atmosphère, décharger le contenu du réacteur vers un réservoir de décompression, puis effectuer une distillation à la vapeur avant rejet.
- Lors de la fabrication des latex acryliques et en cas d'emballage des réacteurs de polymérisation, éviter d'envoyer vers la torche les purges d'urgence des réacteurs :
 - installer un système de dosage électronique continu des réactifs dans le réacteur, fonctionnant selon la cinétique réelle de polymérisation ;
 - utiliser des inhibiteurs chimiques pour arrêter la réaction ;
 - prévoir un refroidissement d'urgence du réacteur ;
 - prévoir une alimentation électrique de secours pour l'agitateur du réacteur ;
 - acheminer le contenu du réacteur vers un réservoir de décompression.

Sources de combustion et rendements énergétiques

Les usines de polymérisation consomment de grandes quantités d'énergie et de vapeur qui sont généralement produites sur site, dans des unités de cogénération. Les émissions liées au fonctionnement de ces installations doivent être réduites au minimum, grâce à l'adoption d'une stratégie globale alliant réduction des besoins en énergie, utilisation de carburants plus propres et installation de dispositifs de lutte contre les émissions. Des recommandations sur l'utilisation rationnelle de l'énergie figurent dans les **Directives EHS générales**.

⁸ Document BREF de l'EIPPCB (2006)

Les usines de polymérisation fonctionnent sous des conditions variées de température et de pression. Il est donc en général possible et souhaitable de prévoir des systèmes à contre-courant pour récupérer la chaleur (ex. vapeur basse pression pour la distillation ou le chauffage) et l'énergie de compression. Concevoir les opérations de purification en prenant en compte leur rendement thermodynamique permet de réduire les besoins en énergie. Le séchage et la finition des polymères sont des étapes importantes en raison de leurs besoins énergétiques et de la sensibilité des polymères à la chaleur et aux contraintes mécaniques. Les techniques d'économies d'énergie sont les systèmes de déshydratation, les circuits fermés d'eau de refroidissement, le séchage sous gaz inerte en circuit fermé, les extrudeuses à faible cisaillement pour le mélange, l'augmentation de la concentration en polymères et les pompes à engrenages pour la granulation.

Gaz acides

Dans les unités de fabrication de polymères par catalyse ionique, les effluents gazeux produits par le séchage peuvent contenir des traces de chlorure d'hydrogène (HCl) provenant de l'hydrolyse catalytique des composés organiques chlorés. Bien que ces acides soient en général présents à faible concentration, il est recommandé de tester le flux gazeux et de mettre en œuvre des mesures de lutte contre la pollution (ex. épuration par voie humide) si les niveaux deviennent significatifs.

Dioxines et furanes

Les unités d'incinération de déchets gazeux, liquides et solides font souvent partie des usines de fabrication des polymères. L'incinération de composés organiques chlorés (comme les chlorophénols) peut produire des dioxines et des furanes. Certains catalyseurs revêtant la forme de composés de métaux de transition (comme le cuivre) facilitent également la formation

de dioxines et de furanes. Les mesures de prévention et de lutte antipollution recommandées consistent, notamment, à :

- exploiter les usines d'incinération conformément aux normes techniques agréées au plan international⁹ ;¹⁰
- Maintenir de bonnes conditions d'exploitation, notamment des températures d'incinération et de gaz de combustion suffisamment élevées, pour éviter la formation de dioxines et de furanes ;
- Veiller à ce que les niveaux d'émission correspondent aux valeurs recommandées (voir le tableau 2).

Eaux Usées

Eaux usées industrielles

Les eaux usées produites par ce secteur industriel peuvent contenir des hydrocarbures, des monomères et autres produits chimiques, des polymères et autres solides (en suspension ou en émulsion), des tensioactifs et des émulsifiants, des composés oxygénés, des acides, des sels inorganiques et des métaux lourds.

Les stratégies de gestion des eaux usées recommandées consistent, notamment, à :

- Recycler dans le procédé les eaux usées contenant des monomères volatiles (ex. CVM, styrène, acrylonitrile, esters acryliques, acétate de vinyle, caprolactame) ou des solvants de polymérisation (ex. condensats produits par la distillation à la vapeur des suspensions ou du latex, condensats après élimination des solvants ou eaux usées produites après les opérations de maintenance). Si le recyclage n'est pas possible, procéder à une distillation flash ou autre méthode de séparation équivalente pour

⁹ Par exemple : Directive 2000/76/CE du Parlement européen et du Conseil, du 4 décembre 2000, sur l'incinération des déchets.

¹⁰ Par exemple : Directive 2000/76/CE du Parlement européen et du Conseil, du 4 décembre 2000, sur l'incinération des déchets.

éliminer les COV avant rejet dans l'unité de traitement des eaux usées de l'unité.

- Séparer et recycler dans le procédé les composés organiques. Si le recyclage n'est pas possible, procéder à leur incinération.
- Traiter par incinération catalytique ou thermique les effluents contaminés non recyclables, comme les eaux usées produites lors de la fabrication du polyester ou des polymères thermodurcissables.
- Lors de la récupération des polymères obtenus par émulsion ou suspension, séparer les catalyseurs ou initiateurs de polymérisation selon leur biodégradabilité, avant leur rejet dans les eaux usées.
- Si le procédé utilise des catalyseurs ou initiateurs de polymérisation peu biodégradables ou non biodégradables, installer une unité de prétraitement spéciale avant leur envoi dans l'unité de traitement des eaux usées.
- Lors de la récupération des polymères obtenus par polymérisation ionique, pré-traiter comme requis les eaux contenant des ions métalliques provenant des catalyseurs (ex. Li, Ni, Co, V, etc.) avant leur envoi dans l'unité de traitement des eaux usées.
- Envoyer les solutions de réactifs usagés dans une unité spécialisée pour élimination.
- Neutraliser les effluents acides et alcalins provenant de la préparation d'eau déminéralisée avant de les envoyer dans le système de traitement des eaux usées de l'unité.
- Tester les eaux contaminées produites par le nettoyage programmé lors de la révision de l'usine. Ces eaux peuvent nécessiter une décontamination dans le système de traitement des eaux usées de l'usine.
- Recueillir les effluents huileux (ex. dus aux fuites) dans des caniveaux fermés pour décantation et rejet dans l'unité de traitement des eaux usées.

- Préparer et mettre en œuvre, au niveau des usines, des programmes de gestion des matières dangereuses incluant des plans de prévention et de contrôle des déversements, conformément aux recommandations figurant dans les **Directives EHS générales**.
- Prévoir des collectes suffisantes de fluides industriels pour maximiser leur recyclage dans la production et éviter leur rejet dans le système de drainage des eaux huileuses.

Traitement des eaux usées industrielles

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 au recours à : des bacs à graisses, des écumeurs, la flottation à air dissous 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), 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 des opérations industrielles ; ii) éliminer les composés organiques récalcitrants et les ingrédients actifs à l'aide de charbon actif ou par oxydation chimique avancée ; iii) réduire la toxicité des effluents à l'aide de technologies adaptées (osmose inversée, échange d'ions, charbon actif, etc.) ; iv) contenir et neutraliser les nuisances olfactives.

La gestion des eaux industrielles est traitée dans les **Directives EHS générales**, qui présentent des exemples de modes de traitement. En ayant recours à ces technologies et en suivant les bonnes pratiques en matière de gestion des eaux usées, les installations devraient satisfaire aux directives pour les valeurs des décharges des eaux usées portées dans le tableau pertinent de la section 2 du document pour cette branche d'activité.

Autres eaux usées et consommation d'eau

Les directives sur la gestion des eaux usées non contaminées provenant des équipements sanitaires, des eaux de pluies 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. La collecte et le traitement des eaux de ruissellement peuvent comporter la récupération des écoulements sur les zones pavées et un bassin de décantation pour récupérer les résines. 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**.

Matières dangereuses

Les installations de fabrication de polymères consomment et stockent des quantités importantes de matières dangereuses, qu'il s'agisse de matières premières ou intermédiaires ou de produits finis. Les pratiques recommandées en matière de gestion, et en particulier de manutention, de stockage et de transport des matières dangereuses ainsi que les questions concernant les substances appauvrissant la couche d'ozone (sao) sont présentées dans les **Directives EHS générales**.

Déchets

Le stockage et la manutention des déchets dangereux et non dangereux doivent être conformes aux bonnes pratiques

environnementales, sanitaires et sécuritaires figurant dans les **Directives EHS générales**. Les déchets dangereux spécifiques à ce secteur industriel sont les solvants et les huiles usagés, les catalyseurs usagés, les gâteaux de filtration saturés et les déchets de polymères solides issus des usines de polymérisation¹¹.

Catalyseurs usagés

Les catalyseurs usagés proviennent des remplacements programmés des lits catalytiques dans les réacteurs de purification des monomères (ex. hydrogénation des impuretés dans les alcènes simples) ou plus rarement, de catalyses hétérogènes. Les catalyseurs usagés peuvent contenir du nickel, du platine, du palladium et du cuivre, selon le procédé utilisé. Les méthodes de gestion recommandées pour les catalyseurs usagés sont les suivantes :

- Une gestion sur site appropriée, qui consiste à immerger les catalyseurs pyrophoriques usagés dans l'eau lors de leur stockage et transport temporaire, jusqu'à leur lieu de traitement final afin d'éviter tout risque de réaction exothermique incontrôlée;
- Le renvoi des catalyseurs au fabricant en vue de leur régénération ou une gestion hors site 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 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 ;

Gâteaux de filtration saturés

¹¹ Cf. Chapitre sur les dioxines et les furanes, pour les recommandations relatives aux émissions dues à l'incinération des déchets organiques chlorés.

La polymérisation en solution produit des gâteaux de filtration saturés, par exemple lors de l'élimination des catalyseurs usagés dans la solution de polymères ou lors de la désodorisation ou de la clarification. Les pratiques recommandées de gestion des gâteaux de filtration saturés consistent notamment à limiter l'utilisation d'agents de purification grâce à une régénération en ligne et l'emploi de matériaux à durée de vie élevée, un conditionnement adapté lors du stockage temporaire et du transport et la sous-traitance par des entreprises spécialisées.

Déchets de polymères solides

Les déchets de polymères sont produits lors du fonctionnement normal de l'usine (ex. filtration du latex, tamisage des poudres et broyage des granulés), des changements de production, du démarrage, de la maintenance et des arrêts en urgence des équipements de fabrication des polymères.

Les mesures de prévention et de dépollution recommandées consistent, notamment, à :

- Recycler ou réutiliser les déchets dans la mesure du possible au lieu de les éliminer. Une option de recyclage est la vente des cires aux industries spécialisées.
- Utiliser des traitements adaptés pour éliminer et séparer les COV (ex. distillation à la vapeur).
- Trier et stocker les produits dans un endroit offrant toutes les garanties de sécurité. Certains déchets de polymères (ex. polymères ayant subi des contraintes thermiques et de cisaillement au démarrage ou à l'arrêt des lignes de séchage et de finition, polymères oxydés récupérés lors de l'entretien des sècheurs, croûtes sans antioxydants et polymères vieillis) peuvent être instables et susceptibles d'auto-échauffement et d'auto-inflammation. Ces déchets doivent être stockés en respectant toutes les conditions de sécurité, puis éliminés (ex. incinérés) dès que possible.

Bruit

Les activités les plus bruyantes sont les étapes de transformation physique des polymères (ex. tamisage, broyage, transport pneumatique) et les machines tournantes de grande taille telles que les extrudeuses, les compresseurs, les turbines, les pompes, les moteurs électriques, les ventilateurs et les refroidisseurs d'air. Lors des dépressurisations en urgence, les niveaux élevés de bruit sont dus aux gaz sous haute pression envoyée aux torches ou aux rejets de vapeur dans l'atmosphère. Les pratiques recommandées en matière de gestion du bruit sont présentées 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 durant la construction et le démantèlement des installations de fabrication de polymères 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 questions d'hygiène et de sécurité au travail propres à chaque installation doivent être identifiées sur la base d'une analyse de la sécurité au travail ou d'une évaluation globale des risques, en utilisant une méthode établie telle qu'une étude d'identification des risques [HAZID], une étude sur les risques et l'exploitabilité [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 générales. Les risques les plus significatifs en matière d'hygiène et de sécurité au travail sont associés à

l'exploitation d'une installation de fabrication de polymères et rentrent dans les catégories suivantes :

- Sécurité des opérations
- Incendies et explosions
- Autres risques chimiques
- Espaces confinés

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 (composés toxiques, réactifs, inflammables ou explosifs) et des réactions en 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 opérateurs ;
- Formuler des consignes d'exploitation et des procédures d'intervention d'urgence.

Les recommandations spécifiques à chaque filière sont les suivantes :

Fabrication du polyéthylène

Le risque spécifique de cette activité et le rejet éventuel de grandes quantités d'éthylène chaud dans l'atmosphère qui pourrait entraîner l'explosion d'un nuage de gaz. Les accidents

sont principalement dus aux fuites provenant des joints ou survenant lors de la maintenance. En ce qui concerne les unités de production de polyéthylène basse densité (PEBD), les accidents sont liés à la rupture du disque de sécurité du réacteur et à l'explosion du séparateur haute pression. Les mesures spécifiques de sécurité consistent notamment à :

- L'éthylène dégagé par la rupture du disque de sécurité du réacteur à haute pression ne peut pas être brûlé à la torche, mais doit être évacué dans l'atmosphère par une cheminée basse, après dilution à la vapeur et refroidissement à l'eau pour réduire au minimum les risques de formation de nuages explosifs.
- Éviter la décomposition des produits dans les réacteurs tubulaires en éliminant la chaleur, contrôlant le profil de température, accélérant la vitesse du flux et contrôlant efficacement la pression.
- Éviter l'explosion des séparateurs à haute pression par la conception des cuves de réacteur, le dosage précis des peroxydes, le contrôle de la température de polymérisation, la détection rapide des réactions exothermiques incontrôlées, l'isolation et la dépressurisation rapides des réacteurs et séparateurs et leur bonne maintenance.

Lors de la production du polyéthylène haute densité (PEHD) et du polyéthylène linéaire à basse densité, les risques d'incendies sont dus aux conditions de haute pression et de haute température dans le réacteur de polymérisation et au désolvant qui fonctionne avec des débits élevés de solvants hydrocarbonés, à une température proche de la température d'auto-inflammation de ces solvants. Lors de la fabrication du PEHD par suspension épaisse et du polypropylène isotactique par le procédé en masse, un déversement du réacteur peut entraîner un nuage explosif par l'évaporation instantanée de l'isobutane et du propylène. La conception des équipements et des circuits de tuyauterie, la maintenance, l'implantation et la

configuration de l'usine et le nombre de vannes d'arrêt d'urgence doivent se faire selon des normes techniques agréées au plan international, afin de prévenir les déversements et les nuages explosifs.

Fabrication du PVC

Un rejet accidentel dans l'atmosphère de CVM et la formation d'un nuage toxique et explosif qui en résulte peuvent être dus à l'ouverture des soupapes suite à l'emballement du réacteur de la polymérisation. Les actions à prendre consistent en un dégazage et un rinçage à la vapeur avant d'ouvrir le réacteur.

Lors des opérations de récupération après polymérisation, le CVM est facilement oxydé par l'air en poly-péroxydes. Après la récupération, le CVM est stocké dans un réservoir d'attente réfrigéré ou pressurisé. L'ajout éventuel d'un inhibiteur chimique, tel que le phénol à empêchement stérique, permet de prévenir la formation de poly-péroxydes. Les poly-péroxydes formés restent normalement dissous dans le CVM, où ils réagissent lentement pour former le PVC. Cependant, si le CVM liquide contenant les poly-péroxydes s'évapore, les poly-péroxydes peuvent précipiter et se décomposer en une réaction exothermique, avec un risque d'explosion et de formation d'un nuage toxique¹².

Polymérisation discontinue

Ce procédé présente un danger d'emballement et d'explosion du réacteur de polymérisation, en cas de dosage erroné des réactifs ou de panne des systèmes d'agitation ou de transfert thermique. Les pratiques recommandées de sécurité consistent notamment à limiter la polymérisation discontinue et à mettre en œuvre des contrôles, comme l'installation d'une alimentation électrique de secours, le refroidissement, l'ajout d'inhibiteurs et l'installation de réservoirs de décompression.

Mélange, finition et conditionnement

Ces opérations présentent des risques d'incendies dans les mélangeurs et les extrudeuses (si les polymères sont surchauffés) et dans les équipements traitant des mélanges d'air et de polymères en poudre (ex. sècheurs, transport pneumatique et broyeurs). Il est recommandé d'utiliser des installations électriques répondant à des normes agréées au plan international, de mettre à la terre tous les équipements et de prévoir des systèmes spécifiques de lutte contre les incendies.

Incendies et explosions

Chlorure de vinyle monomère (CVM)

Le CVM est classé comme toxique et carcinogène (catégorie 1 du CIRC¹³), il est gazeux en conditions normales (point d'ébullition = -13,9 °C) et potentiellement explosif quand il entre en contact avec l'air. Le CVM est stocké sous forme liquide dans des réservoirs réfrigérés ou pressurisés. Le transport du CVM, notamment dans des gazoducs, doit être conforme aux bonnes pratiques internationales en matière de transport des matières dangereuses. Lors de l'étude de l'emplacement d'une nouvelle usine de synthèse de PVC, il convient de considérer la position des usines de production des monomères, afin de réduire au minimum les temps de stockage et de limiter les dangers dus au transport¹⁴.

Styrène

Le styrène polymérise facilement et doit être stocké sous des températures basses, avec une quantité appropriée d'inhibiteur (4-tertiobutylcatéchol) et dans des réservoirs conçus et construits selon des normes agréées au plan international.

¹² Document BREF de L'EIPPCB (2006)

¹³ Monographie du CIRC sur l'évaluation des risques de cancer chez l'homme, Volume 19 <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol19/volume19.pdf>

¹⁴ Le coût du transport peut être un facteur déterminant pour implanter une nouvelle installation près des sources de CVM.

Acide acrylique et esters^{15,16}

L'acide acrylique est un liquide qui gèle à 13 °C. Il est extrêmement réactif et la polymérisation peut devenir incontrôlée si elle n'est pas inhibée. Les accidents sont relativement fréquents dans les sites de stockage d'acide acrylique

L'acide acrylique vendu sous une forme inhibée par du monométhyléther d'hydroquinone, qui est actif en présence d'air. Il est facilement inflammable en cas de surchauffe et doit être conservé dans des cuves en acier inoxydable. Il faut éviter la surchauffe ou le gel, car faire fondre de l'acide acrylique gelé présente le risque de perdre le contrôle de la polymérisation. Les esters acryliques se comportent de la même manière, mais ils ne présentent pas de risques en cas de gel.

Phénol

Le phénol fond à 40,7 °C et il est généralement réceptionné, stocké et manutentionné en fusion. Les réservoirs doivent être équipés d'un système de récupération de vapeur et de serpentins de chauffage. La mise sous azote est également recommandée. Les tuyauteries et les raccords doivent être tracés à la vapeur et purgés à l'azote avant et après tout transfert de produit.

Formaldéhyde

Le formaldéhyde est utilisé à des concentrations de 37 à 50 % sous forme d'une solution aqueuse généralement stabilisée par de petites quantités de méthanol (<1 %). Le formaldéhyde est un carcinogène confirmé pour l'homme (catégorie 1 du CIRC¹⁷)

et dégage des vapeurs inflammables au contact de l'air, il doit donc être stocké sous gaz inerte.

Alkyles métalliques (Al, Li, Zn, Na, K, etc.)

Les alkyles métalliques les plus communément utilisés sont les alkyles d'aluminium et de magnésium pour la polymérisation des alcènes de type Ziegler-Natta et les alkyls de lithium pour la polymérisation anionique des styrènes et diènes. Il est recommandé notamment de :

- Préparer des plans spécifiques de prévention et de lutte contre les incendies pour maîtriser les risques associés aux alkyles métalliques¹⁸.
- Respecter les distances de sécurité, à l'intérieur comme à l'extérieur de l'usine¹⁹.
- Transporter les produits en camions-citernes, wagons-citernes, réservoirs portables ou réservoirs ISO, selon des normes agréées au plan international²⁰.
- Transférer les produits vers des lieux de stockage sécurisés grâce à des vannes, raccords et pompes conçues dans ce but.
- Maintenir les réservoirs de stockage sous azote et prévoir une mise à l'atmosphère au moyen de joint(s) hydraulique(s). Surveiller les niveaux et débits de produits à l'aide d'instruments et d'alarmes de haute fiabilité.
- Équiper les zones de stockage des alkyles métalliques de murs de confinement et prévoir une pente à l'intérieur de ces murs pour faciliter le drainage vers une fosse de brûlage d'urgence.

¹⁵ *Acrylic acid - A summary of safety and handling*, 3^e Édition, 2002. Intercompany Committee for the Safety and Handling of Acrylic Monomers (ICSHAM).

¹⁶ *Acrylate esters - A summary of safety and handling*, 3^e Édition, 2002. Intercompany Committee for the Safety and Handling of Acrylic Monomers (ICSHAM).

¹⁷ Monographie du CIRC sur l'évaluation des risques de cancer chez l'homme, Volume 88 <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol88/volume88.pdf>

¹⁸ La brumisation peut être utilisée pour désactiver les alkyls pyrophoriques. En cas d'incendie, il n'est pas recommandé d'utiliser de grandes quantités d'eau ou de mousse, en raison de leur réactivité violente avec les alkyls d'aluminium. L'eau doit plutôt servir à refroidir les objets à proximité, soit directement, soit sous forme d'un rideau protecteur contre la radiation thermique. D'autres agents, comme le CO₂ ou autres produits chimiques en poudre sont nécessaires en grande quantité pour lutter contre les incendies et éviter tout réamorçage.

¹⁹ E.J Major, H.G. Wissink, J.J. de Groot, (Akzo Nobel), *Aluminum Alkyl Fires*

²⁰ Recommandations de l'ONU relatives au transport des marchandises dangereuses. Règlement type. 13^e édition révisée (2003).

Peroxydes

Les peroxydes organiques et inorganiques ainsi que les dérivés diazoïques sont largement utilisés comme initiateurs pour la polymérisation radicalaire. Les peroxydes inorganiques, comme le peroxyde d'hydrogène et les ions peroxydisulfates, sont susceptibles d'entraîner de violentes réactions avec les substrats organiques. Les peroxydes inorganiques sont des oxydants et présentent donc les risques suivants : augmentation de la combustibilité des matériaux combustibles, inflammation spontanée des matériaux combustibles, décomposition rapide et auto-entretenue pouvant entraîner une explosion, dégagement de gaz dangereux et explosion s'ils sont mélangés avec des composés incompatibles ou exposés à une flamme. Il est recommandé notamment de :

- Transporter et manipuler les formulations à base de peroxydes selon les recommandations du fabricant et selon les normes agréées au plan international^{21, 22, 23}.
- Séparer les zones de stockage. Concevoir et construire les usines selon des normes techniques agréées au plan international (ex. Codes NFPA (*National Fire Protection Agency*)^{24, 25}). Stocker les peroxydes organiques dans des bâtiments prévus à cet effet, climatisés et à l'épreuve des explosions²⁶.

²¹ Recommandations de l'ONU relatives au transport des marchandises dangereuses. Règlement type. 13^e édition révisée (2003).

²² *Safety and handling of organic peroxides*. Guide préparé par l'*Organic peroxide producers safety division* de la SPI (*Society of the plastics industry*). Publication N° AS-109

²³ NFPA 432, Code for the Storage of Organic Peroxide Formulations. Édition 2002

²⁴ NFPA 430, Code for the Storage of Liquid and Solid Oxidizers. Édition 2004

²⁵ NFPA 432, Code for the Storage of Organic Peroxide Formulations. Édition 2002

²⁶ Les peroxydes de classe 3 peuvent nécessiter des normes de stockage plus sévères.

- Préparer des plans spécifiques de prévention et de lutte contre les incendies pour maîtriser les risques associés aux oxydants inorganiques forts²⁷.

Polymères

Les incendies dans les magasins de stockage des polymères peuvent être difficiles à maîtriser en raison de la chaleur de combustion très élevée de la plupart des polymères. La combustion des polymères lors des incendies produit des nuages toxiques. Il est recommandé, notamment, de :

- Concevoir les bâtiments de stockage selon des normes techniques agréées au plan international, en prévoyant notamment une ventilation appropriée, un contrôle de la température de l'air et une protection contre l'ensoleillement direct.
- Adopter des systèmes efficaces de prévention et de lutte contre les incendies, notamment en installant des détecteurs de fumée, des détecteurs infrarouges de points chauds et des extincteurs automatiques d'incendie prévus pour la charge thermique considérée.
- Conserver les polymères dans des emballages fermés, car ils présentent pour la plupart une potentialité de vieillissement oxydant sous l'effet de la chaleur et de la lumière.
- Adopter des procédures « premier entré, premier sorti » pour les produits, faire des visites de contrôle fréquentes et mettre en œuvre les bonnes pratiques de nettoyage. Effectuer des contrôles de sécurité sur les matériaux ayant vieillis : ils doivent être suivis, puis séparés pour être éliminés.

²⁷ Par exemple, l'agent extincteur le plus efficace contre les peroxydes organiques est l'azote liquide appliqué avec un équipement télécommandé.

Produits Chimiques

L'exposition par inhalation et l'exposition cutanée à des produits chimiques lors du fonctionnement normal de l'usine doivent être gérées conformément aux résultats obtenus lors de l'analyse de la sécurité au travail et de l'hygiène industrielle et comme stipulé dans les chapitres sur l'hygiène et la sécurité au travail des **Directives EHS générales**. Les mesures de protection comprennent la formation du personnel, l'application d'un système de permis de travail, l'utilisation d'équipements de protection individuelle (EPI) et l'installation de systèmes de détection des gaz toxiques dotés d'alarmes.

Espaces confinés

Si les risques associés aux espaces confinés ne sont pas bien gérés, ils peuvent dans le pire des cas (comme dans toutes les autres branches d'activité) provoquer des pertes en vie humaine. L'accès du personnel aux espaces confinés et la probabilité d'accident varient selon la conception, les équipements et les infrastructures des installations. Les espaces confinés dans les usines de production de polymères sont par exemple les réacteurs où le personnel doit pénétrer lors de la maintenance. Les responsables des installations doivent élaborer et mettre en place des procédures d'entrée dans les espaces confinés, comme indiqué dans les **Directives EHS générales**.

1.3 Santé et sécurité de la population

Les impacts de la construction et du démantèlement des installations de fabrication de polymères 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 production car des incendies et des explosions peuvent se produire durant la fabrication des

polymères, leur manipulation ou leur transport à l'extérieur des installations, causant de graves accidents. Les recommandations concernant la gestion de ces questions sont présentées dans le chapitre précédent « Hygiène et sécurité au travail ». Les principaux risques doivent être gérés conformément à la réglementation internationale et aux meilleures pratiques (Recommandations de l'OCDE²⁸ Directive Seveso II de l'UE²⁹ et Règlement de l'Agence pour la protection de l'environnement des États-Unis sur le programme de gestion des risques [USA EPA Risk Management Program Rule] par exemple).³⁰

De plus amples recommandations sur la gestion des matériaux dangereux figurent dans les chapitres correspondants des **Directives EHS générales** : Gestion des matières dangereuses (Risques majeurs), Sécurité du trafic, Transport des Matières dangereuses et Élaboration de plans de préparation et d'intervention 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 produits pétroliers.

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

²⁸ Principes directeurs de l'ocde pour la prévention, la préparation et l'intervention en matière d'accidents chimiques, deuxième édition (2003)

²⁹ Directive 96/82/ec du conseil de l'ue, ou directive seveso ii, amendée par la directive 2003/105/ec.

³⁰ Epa, 40 cfr part 68, 1996 - dispositions relatives à la prévention des accidents chimiques

cette branche d'activité correspondent aux bonnes pratiques internationales en ce domaine, telles qu'exprimées par les normes pertinentes des pays qui ont des cadres réglementaires agréés. Ces directives sont réalisables, dans le cadre de conditions d'exploitation normales, dans les établissements conçus et exploités de manière appropriée qui appliquent les techniques de prévention et de contrôle de la pollution examinées dans les sections précédentes de ce 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 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**.

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 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.

Tableau 1. Émissions atmosphériques

Polluant	Unité	Valeur donnée dans les directives
Particules en suspension	mg/Nm ³	20
Oxydes d'azote	mg/Nm ³	300
Chlorure d'hydrogène	mg/Nm ³	10
Oxydes de soufre	mg/Nm ³	500
Chlorure de vinyle (CVM)	g/t PVC (suspension) g/t PVC (émulsion)	80 500
Acrylonitrile	mg/Nm ³	5 (15 pour les sècheurs)
Ammoniac	mg/Nm ³	15
COV	mg/Nm ³	20
Métaux lourds (total)	mg/Nm ³	1,5
Hg	mg/Nm ³	0,2
Formaldéhyde	mg/m ³	0,15
Dioxines / Furanes	ng TEQ/Nm ³	0,1

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

Le tableau 3 présente, à titre d'exemple, des indicateurs relatifs à la consommation de ressources, d'énergie et d'eau, aux émissions et à la production de déchets.

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 d'exploitation normales ou dans des conditions anormales. 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 2.. Effluents

Polluant	Unité	Valeur donnée dans les directives
pH	pH	6 - 9
Augmentation de température	C	≤3
DBO5	mg/l	25
Demande chimique en oxygène (DCO)	mg/l	150
Azote total	mg/l	10
Phosphore total	mg/l	2
Soufre	mg/l	1
Huile et graisse	mg/l	10
MES	mg/l	30
Cadmium	mg/l	0,1
Chrome (total)	mg/l	0,5
Chrome (hexavalent)	mg/l	0,1
Cuivre	mg/l	0,5
Zinc	mg/l	2
Plomb	mg/l	0,5
Nickel	mg/l	0,5
Mercuré	mg/l	0,01
Phénol	mg/l	0,5
Benzène	mg/l	0,05
Chlorure de vinyle	mg/l	0,05
Halogènes organiques adsorbables	mg/l	0,3
Toxicité	À déterminer au cas par cas	

Tableau 3. Consommation de ressources et d'énergie, émissions et déchets

Paramètre	Unité	Référentiel industriel (UE, 1999, meilleure moyenne 50 %)					
		PEBD ²⁰	PEHD ¹⁴	Polyéthylène linéaire à basse densité	Polystyrène de base	HIPS	Polystyrène expansé
Consommation directe d'énergie ¹²	kWh/t	720	570	580	300 ²	410 ²	500 ²
Consommation d'énergie primaire ¹³	kWh/t	2 070	1 180	810	--	--	--
Consommation d'eau ³	m ³ /t	1,7	1,9	1,1	0,8	0,8	5,0
Émission de poussières	g/t	17	56	11	2	2	30
Émission de COV ¹⁰	g/t	700 – 1 100	650	180 – 500 ¹	85	85	450 – 700 ⁴
DCO	g/t	19	17	39	30	--	--
Déchets inertes	kg/t	0,5	0,5	1,1	2,0	3,0	6,0
Déchets dangereux	kg/t	1,8	3,1	0,8	0,5	0,5	3,0
Produits		PVC produit par polymérisation en suspension	PVC produit par polymérisation en émulsion	PET¹⁵ 19	Polyamide 6¹⁵ 17		Polyamide 6-6¹⁵ 16
Consommation directe d'énergie	kWh/t	750–1 100	2 000-3 000	850 – 1 500	1 800 – 2 000		1 600 – 2 100
Consommation d'énergie primaire	kWh/t	1 100-1 600	2 800-4 300	--	--		--
Eaux usées	m ³ /t	4,0 ⁹	--	0,6 - 25	1 - 3		1,5 – 3,0
Émission de poussières	g/t	40 ⁶ 9	200 ⁶ 9	--	--		--
Émission de monomères dans l'air ^{5, 9, 10}	g/t	18 - 43	245-813	--	6 – 10		--
Émission de COV ¹⁰	g/t	--	--	5 ¹⁸	--		10 - 30
Rejet de monomères dans l'eau ^{7, 9}	g/t	3,5	10	--	--		--
DCO	g/t	480 ⁸ 9	340 ⁸ 9	2 000 – 16 000	4 300 – 5 700 ¹⁶		4 500 – 6 000 ¹⁶
Déchets inertes	kg/t	--	--	0,8 – 18	3,0 – 3,5		3,0 – 3,5
Déchets dangereux	kg/t	55 ⁹	74 ⁹	< 0,45	0,2 – 0,5		0,2 – 0,5
Produits		Résines polyester insaturé					
Consommation directe d'énergie	kWh/t	< 1 000					
Consommation d'énergie primaire	kWh/t	--					
Eaux usées	m ³ /t	1 – 5					
Émission de poussières	g/t	5 – 30					
Émission de monomères dans l'air	g/t	--					
Émission de COV ¹⁰	g/t	40 – 100					
Rejet de monomères dans l'eau	g/t	--					
DCO	g/t	--					
Déchets inertes	kg/t	--					
Déchets dangereux	kg/t	< 7					

Source : Bureau Européen de prévention et de contrôle intégrés de la pollution (IPPC), Union européenne (2006)

Notes: 1) Selon le type de comonomères (C4 ou C8); 2) Moyenne européenne; 3) Ne comprend pas les purges d'eau de refroidissement 4) 60 % de pentane. Ne comprend pas le stockage 5) Meilleure moyenne 25 % 6) poussière de PVC 7) Après distillation, avant traitement des eaux usées 8) Après traitement final des eaux usées 9) Médiane 10) Comprend les émissions diffuses 11) L'énergie directe est la consommation totale d'énergie 12) L'énergie primaire est l'énergie ramenée au carburant fossile. Le calcul de l'énergie primaire prend en compte les rendements suivants : électricité 40 % et vapeur 90 % 13) Bonnes pratiques industrielles 14) Les valeurs concernant le polypropylène isotactique peuvent être considérées comme plus ou moins équivalentes 15) Avant traitement des eaux usées 16) Procédé continu 17) Déchets solides contenant plus de 1 000 ppm de CVM 18) Avec oxydation catalytique (sources ponctuelles uniquement) 19) Procédé à l'acide téréphthalique plus post-condensation en continu 20) Réacteur tubulaire

.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)³¹, *Pocket Guide to Chemical Hazards* publié par United States National Institute for Occupational Health and Safety (NIOSH)³², les valeurs plafonds autorisées (PEL) publiées par Occupational Safety and Health Administration of the United States (OSHA)³³, les valeurs limites d'exposition professionnelle de caractère indicatif publiées par les États membres de l'Union européenne³⁴, 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 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)³⁵.

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 agréés³⁶ 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**.

³¹ Consulter : <http://www.acgih.org/TLV/> et <http://www.acgih.org/store/>

³² Consulter : <http://www.cdc.gov/niosh/npg/>

³³ Consulter :

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

³⁴ Consulter : http://europe.osha.eu.int/good_practice/risks/ds/oel/

³⁵ Consulter : <http://www.bls.gov/iif/> and

<http://www.hse.gov.uk/statistics/index.htm>

³⁶ 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'informations supplémentaires

- Commission européenne. 2006. Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Reference Document on Best Available Techniques for Polymers. October 2006. Séville, Espagne
- Directive 2000/76/EC du Parlement et du Conseil européens en date du 4 décembre 2000 sur l'incinération des déchets
Directive 96/82/EC du Conseil de l'UE, ou Directive Seveso II, amendée par la Directive 2003/105/EC.
- European Council of Vinyl Manufacturers (ECVM). 1994. Industry Charter for the Production of VCM and PVC (Suspension Process). Bruxelles, Belgique
- European Council of Vinyl Manufacturers (ECVM). 1998. Industry Charter for the Production of Emulsion PVC. Bruxelles, Belgique
- German Federal Government. 2002. First General Administrative Regulation Pertaining to the Federal Emission 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.
- IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans
- Intercompany Committee for the Safety and Handling of Acrylic Monomers, ICSHAM. 2002. Acrylate Esters – A Summary of Safety and Handling, 3rd Edition, 2002
- Intercompany Committee for the Safety and Handling of Acrylic Monomers, ICSHAM. 2002 Acrylic acid - A summary of safety and handling, 3e édition (2002)
- Kirk-Othmer, R.E. 2006. Encyclopedia of Chemical Technology. 5th Edition. John Wiley and Sons Ltd., New York, NY.
- National Fire Protection Association (NFPA). Standard 430, Code for the Storage of Liquid and Solid Oxidizers. 2004 Edition. Quincy, MA.
- NFPA Standard 654: Standard for the Prevention of Fire and Dust Explosions from the Manufacturing, Processing, and Handling of Combustible Particulate Solids
- NFPA. Standard 432, Code for the Storage of Organic Peroxide Formulations. 2002 Edition. Quincy, MA.
- OCDE, Principes directeurs de l'OCDE pour la prévention, la préparation et l'intervention en matière d'accidents chimiques, deuxième édition (2003)
- Organic Peroxide Producers Safety Division of the Society of the Plastics Industry. 1999. Safety and Handling of Organic Peroxides. Publication # AS-109. Washington, DC
- Oslo and Paris Commission (OSPAR). 1998. Decision 98/5 for Emission and Discharge Limit Values for the Vinyl Chloride Sector, Applying to the Manufacture of Suspension PVC (S-PVC) from Vinyl Chloride Monomer (VCM). Oslo, Norvège et Paris, France.
- Oslo and Paris Commission (OSPAR). 1999. Recommendation 99/1 on BAT for the Manufacture of Emulsion PVC (e-PVC). Oslo, Norvège et Paris, France.
- Oslo and Paris Commission (OSPAR). 2006. Recommendation 2000/3 for Emission and Discharge Limit Values for E-PVC, as amended by OSPAR Recommendation 2006/1. Oslo, Norvège et Paris, France.
- UN Recommendations on the Transport of Dangerous Goods. Model Regulations. Thirteenth revised edition, 2003.
- US EPA 40 CFR Part 60 — Standards of performance for new stationary sources, Subpart DDD — Standards of Performance for Volatile Organic Compound (VOC) Emissions from the Polymer Manufacturing Industry. Washington, DC
- US EPA. 1996. 40 CFR Parts 9 and 63 National Emission Standards for Hazardous Air Pollutant Emissions: Group IV Polymers and Resins. Washington, DC
- US EPA. 2000. 40 CFR Part 63 National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants for Amino/ Phenolic Resins Production. Washington, DC
- US EPA. 40 CFR Part 63 — National emission standards for hazardous air pollutants, Subpart F—National Emission Standard for Vinyl Chloride. Washington, DC

Annexe A — Description générale des activités

Polymères

Les polymères sont souvent classés d'après leurs propriétés physiques :

- Résines : rigides, module de Young³⁷ élevé et faible élongation à la rupture³⁸
- Caoutchoucs (ou élastomères) : faible module de Young et élongation à la rupture élevée.

Les polymères peuvent également être classés selon leurs modes de fabrication :

- Les polymères **thermoplastiques**. Ils deviennent malléables sous l'action de la chaleur. C'est état est réversible et ils durcissent quand la température baisse. Ils sont fabriqués par thermoformage, extrusion, injection ou étirage ; ils peuvent être dilués dans des solutions ou des émulsions, comme certains revêtements et adhésifs. Ils sont aisément recyclés, mais on constate une dégradation générale de leurs propriétés.
- Les polymères **thermodurcissables**. Après polymérisation, ils durcissent de manière permanente et se décomposent sous l'action d'une forte température. Ils ne peuvent être recyclés après utilisation. Les polymères thermodurcissables sont plus durs et plus cassants que les polymères thermoplastiques et leurs dimensions sont stables.

Fabrication des polymères

Purification des monomères et des solvants

³⁷ Mesure de la rigidité d'un matériau donné. Défini, pour les contraintes de faible ampleur, comme le rapport entre la traction et la déformation qui en résulte.

³⁸ Mesure de la ductilité d'un matériau donné, soit sa capacité à se déformer plastiquement sans se rompre.

Les réactions de polymérisation nécessitent des matières premières et des produits chimiques de très grande pureté, car les impuretés peuvent perturber la catalyse ou dégrader les propriétés des produits, en modifiant notamment leur structure et réduisant la longueur de leur chaîne.

Polymérisation

Les procédés utilisés varient en fonction des propriétés des monomères et des polymères et de leurs mécanismes de polymérisation. Les réacteurs de polymérisation fonctionnent de manière continue ou discontinue (par lot). En général, la polymérisation discontinue est adaptée aux petites capacités de production ou aux unités fabricant une large gamme de produits nécessitant des changements fréquents. La polymérisation continue convient aux grandes unités fabricant un nombre limité de qualités de polymères.

Les réacteurs discontinus sont des cuves équipées d'un agitateur et d'un dispositif d'échange de chaleur (serpents internes, double paroi et condenseurs à reflux). L'agitation est optimisée en fonction du procédé utilisé. Les réacteurs continus sont de type varié et dépendent des procédés. Selon le type de matière première, les procédés sont classés comme suit :

- Polymérisation en solution : pour les monomères et polymères solubles dans les solvants organiques ou dans l'eau. Utilisée pour fabriquer le polyéthylène haute densité (PEHD), le polyéthylène linéaire à basse densité, divers polymères acryliques destinés au marché des revêtements et adhésifs, lors de la polymérisation par étape, etc.
- Polymérisation en suspension : pour les monomères, polymères et initiateurs ou catalyseurs insolubles. Utilisée pour fabriquer le PVC et le polystyrène expansé. Les monomères sont maintenus sous forme de fines

gouttelettes en suspensions dans des solvants (facilité par l'agitation et l'ajout de colloïdes) ; l'initiateur ou le catalyseur est dissous dans les monomères.

- Polymérisation en émulsion : les monomères, insolubles ou peu solubles dans l'eau, sont émulsifiés en gouttelettes à l'aide de savon ou autres tensioactifs et en partie stabilisés en micelles par l'excès de savon. Un initiateur soluble dans l'eau démarre la polymérisation dans les micelles, qui croissent au fur et à mesure de la formation du polymère. Les monomères et autres réactifs ainsi que les nouveaux radicaux sont transférés aux particules de polymères par diffusion à travers l'eau. Le produit final est une dispersion stable de polymères dans l'eau (latex). La polymérisation par émulsion eau dans huile est utilisée pour les monomères solubles dans l'eau. Les produits ainsi obtenus sont l'ABS (Acrylonitrile-Butadiène-Styrène), le PVC par émulsion, le polyacétate de vinyle et les latex acryliques.
- Polymérisation en masse : les monomères sont directement polymérisés après ajout de l'initiateur ou du catalyseur ou sous l'action de la chaleur ou de la lumière. Les produits ainsi obtenus sont le polyéthylène basse densité (PEBD), le polystyrène de base, le polystyrène à haute résistance aux chocs (HIPS pour *High Impact Polystyrene Sheets*), le polypropylène isotactique, les feuilles de polyméthacrylate de méthyle (PMMA pour *PolyMethyl MethAcrylate*), les nylons et le PET.
- Polymérisation en suspension épaisse : les polymères, généralement en raison de leurs propriétés cristallines, sont insolubles dans le milieu de réaction. Ils sont donc précipités dans la solution de monomères, soit directement, soit dans des solvants, puis maintenus en suspension par agitation ou turbulence. Les polymères sont récupérés par décantation (centrifugeuse à décantation ou sédimentation). La solution de monomères actifs peut être recyclée dans le réacteur. Les procédés

continus ou discontinus sont tous deux possibles. Les produits ainsi obtenus sont les polyoléfines (PEHD, polypropylène isotactique).

- Polymérisation en phase gazeuse : elle s'opère dans un réacteur à lit fluidisé, où le catalyseur est ajouté sous forme de poussière fine. La polymérisation se produit à l'intérieur des particules de polymères en croissance, fluidisées dans le flux de monomères. Les réacteurs agités sont aussi utilisés dans ce cas. Les produits ainsi obtenus sont les polyoléfines (PEHD, polypropylène isotactique).

Récupération des polymères

Après la polymérisation, les catalyseurs ou initiateurs doivent être éliminés et les polymères séparés des monomères résiduels et du milieu de polymérisation. Ces opérations sont souvent intégrées dans l'étape de finition. L'évaporation instantanée, la distillation à la vapeur et la distillation à l'azote sont les opérations les plus communément utilisées pour récupérer les monomères et les solvants inaltérés.

Finition

La finition peut inclure l'ajout d'additifs, le séchage, l'extrusion et la granulation et le conditionnement. Les additifs sont notamment les antioxydants, les agents anti-UV, les plastifiants, les lubrifiants et différents types de stabilisateurs et pigments.

Les polymères sont généralement vendus sous forme de poudre (ex. PVC), de granulés (ex. PEHD, polystyrène expansé, polyoléfines, polystyrène, PET, polyamides, PMMA), de feuilles (ex. PMMA) ou en émulsions ou solutions liquides.

Procédés et produits

Polymères thermoplastiques

Polyéthylène

Les principaux types de polyéthylène sont : PEBD, PEHD et polyéthylène linéaire à basse densité.

Le polyéthylène basse densité (PEBD) s'obtient en continu, sous haute pression. L'éthylène est comprimé à 3 000 bars (réacteur tubulaire) ou 2 000 bars (cuve), puis envoyé dans le réacteur où sont injectés de l'oxygène ou des peroxydes organiques pour initialiser la polymérisation radicalaire à 140-180 °C. La réaction se déroule sous haute température, pouvant atteindre plus de 300 °C. Le mélange éthylène-polymères est envoyé en continu dans un séparateur haute pression (250 bars), où les polymères précipitent et où l'éthylène inaltéré est récupéré, recomprimé et recyclé vers le réacteur. Les polymères sont ensuite envoyés dans un séparateur basse pression qui complète le dégazage. L'étape de finition du polyéthylène en fusion comprend l'extrusion et la granulation.

Le polyéthylène haute densité (PEHD) et le polyéthylène linéaire à basse densité (copolymères linéaires de 1-butène, 1-hexène ou 1-octène) sont produits par catalyse de type Ziegler-Natta ou, plus récemment, avec des catalyseurs métallocènes. Les procédés, communs à de nombreuses usines, sont :

- Polymérisation en phase gazeuse : avec des réacteurs à lit fluidisé de grande taille (> 500 m³), fonctionnant sous relativement haute pression (20-30 bars), et avec un fort taux de recyclage de l'éthylène via un refroidisseur à gaz qui dissipe la chaleur dégagée par la polymérisation. L'usine peut comporter un ou deux réacteurs en série.
- Polymérisation en suspension épaisse : le PEHD peut être produit dans des réacteurs continus (un ou plusieurs réacteurs en série ou procédé BORSTAR associé à des réacteurs en phase gazeuse), avec de l'isobutane comme diluant dans des réacteurs tubulaires en boucle et de l'hexane ou de l'heptane dans les réacteurs continus agités.

- Polymérisation en solution : dans le réacteur, les polymères sont dissous dans un mélange solvants/comonomères. La concentration en polymères dans le réacteur est maintenue entre 10 et 30 % en poids. La pression du réacteur est maintenue entre 30 et 200 bars, pendant que la température est maintenue entre 150 et 250 °C. Les solvants sont généralement des hydrocarbures du groupe C₆ à C₉.
- Procédé sous haute pression : le polyéthylène linéaire à basse densité, le polyéthylène à très basse ou ultra basse densité basés sur la copolymérisation du butène-1 sont produits industriellement avec des catalyseurs de type Ziegler-Natta, sous haute pression, dans des réacteurs tubulaires ou des cuves.

Polypropylène

La production du polypropylène se fait selon deux procédés :

- En phase gazeuse : à 70-90 °C, 20-40 bars. Avec des réacteurs à lit fluidisé ou des réacteurs agités, de type vertical et horizontal.
- En suspension épaisse (dit procédé en masse ou liquide) : avec des monomères liquides à 60-80 °C, 20-50 bars dans un réacteur tubulaires en boucle.

Un ou plusieurs réacteurs en série permettent de produire une vaste gamme de polymères, notamment du polypropylène isotactique renforcé³⁹, contenant des copolymères d'éthylène. Les deux types de réacteurs peuvent être associés pour optimiser les procédés (ex. procédé Spheripol®).

³⁹ Les polymères isotactiques sont les polymères formés par des monomères ramifiés dont tous les radicaux sont du même côté de la chaîne polymérique.

Polychlorure de vinyle (PVC)

Le polychlorure de vinyle (PVC) est obtenu par polymérisation du chlorure de vinyle monomères (CVM). Il existe trois procédés :

- En suspension
- En émulsion
- En masse

Le PVC produit par polymérisation en suspension est obtenu dans des réacteurs discontinus agités. Les monomères sont dispersés dans de l'eau déminéralisée par l'agitation mécanique et l'ajout de colloïdes et de tensioactifs. La polymérisation se déroule dans les gouttelettes de CVM en présence d'initiateurs solubles. Le PVC en suspension est dégazé pour éliminer le CVM inaltéré et envoyé vers une tour de distillation à la vapeur, où les traces restantes de CVM sont éliminées. Le produit est ensuite envoyé dans une centrifugeuse/système de rinçage pour élimination des impuretés et de l'eau ; un passage dans un sécheur est possible. Les polymères secs sont tamisés et broyés selon les besoins. L'étape finale est le conditionnement ou le stockage en silos pour expédition en vrac.

Le procédé par émulsion produit du PVC sous forme de latex. Il existe trois procédés de polymérisation : émulsion discontinue, émulsion continue et microsuspension. Le CVM est dispersé à l'aide d'un émulsifiant, généralement de l'alkyl-sulfonate de sodium, de l'aryl-sulfonate de sodium ou du sulfate d'alkyl. La polymérisation se produit à l'interface CVM/eau en présence d'initiateurs, tels que le peroxydisulfate de métal alcalin. Le CVM résiduel est éliminé par distillation du latex. Le latex est séché par atomisation et les gaz d'échappement qui en résultent sont un point critique d'émission de CVM dans l'atmosphère.

Polystyrène

Il existe trois types de polystyrène : le polystyrène de base, transparent et cassant, le polystyrène à haute résistance aux chocs, blanc, mat et relativement solide, dérivé du caoutchouc et le polystyrène expansé.

Le polystyrène de base et le polystyrène à haute résistance aux chocs sont produits par polymérisation en masse en continu, où les monomères sont transformés par polymérisation radicalaire. La réaction est initiée par la chaleur et se déroule en présence ou non de peroxydes organiques. Lors de la fabrication du polystyrène à haute résistance aux chocs, un ajout de polybutadiène (à haute ou moyenne teneur en isomères cis) dissous dans le styrène permet d'améliorer la résistance du polymère.

Le procédé peut comporter un ajout de solvants, d'initiateur (option) et d'agents de transfert de chaîne dans les réacteurs, sous des conditions précises. Le styrène agit comme solvant, mais il est également possible d'ajouter 10 % d'éthylbenzène pour garantir une meilleure maîtrise de la réaction.

Pour récupérer les monomères et les solvants n'ayant pas réagi, le produit brut est chauffé à environ 220-260 °C, puis est mis sous vide poussé. Cette opération se nomme la dévolatilisation. L'injection d'eau (distillation à la vapeur) permet d'améliorer la récupération des monomères. Le styrène et l'éthylbenzène inaltérés sont condensés et recyclés dans le circuit d'alimentation. Les polymères en fusion sont extrudés (à sec ou en présence d'eau) et séchés avant stockage et conditionnement.

Les billes de polystyrène expansé sont produites par polymérisation en suspension du styrène en présence de peroxydes organiques (initiateur), avec ajout de pentane comme

agent d'expansion. Les billes sont séparées par centrifugation, lavées et séchées avant conditionnement.

Acrylates

Les polymères acryliques sont produits par polymérisation radicalaire de monomères acryliques (acide acrylique et dérivés) et copolymérisation avec d'autres monomères vinyliques (ex. acétate de vinyle ou styrène). Les principaux monomères acryliques sont l'acide acrylique, l'acrylamide et de nombreux esters acryliques (acrylate de méthyle ou esters d'alcools gras). Les monomères solubles dans l'eau, comme l'acide acrylique et l'acrylamide, sont généralement polymérisés dans une solution aqueuse ou par polymérisation en émulsion eau dans huile. Les polymères et copolymères d'esters acryliques sont produits par émulsion ou en solution, selon leur utilisation finale.

La polymérisation par émulsion est la technique la plus communément employée. Les solvants utilisés lors de la polymérisation en solution sont les alcools, les esters, les hydrocarbures chlorés et les composés aromatiques, selon la solubilité recherchée pour les polymères. Les initiateurs sont des peroxydes organiques ou inorganiques. La polymérisation est généralement discontinue, dans des réacteurs agités, équipés de d'échangeurs de chaleur (vapeur ou eau).

Polyéthylène téréphtalate (PET)

Le PET est produit par polycondensation de l'acide téréphtalique ou de son ester diméthylé (le diméthyle téréphtalate DMT) avec l'éthylène glycol. La réaction est conduite en deux étapes : la première produit un prépolymère de poids moléculaire relativement faible (polymère brut), la deuxième permet d'obtenir le polymère final, de poids moléculaire élevé. Le procédé au DMT a été supplanté par le procédé à l'acide téréphtalique pour la production industrielle de polyester.

La polymérisation à l'état solide peut être soit continue, dans de nombreux types de réacteurs et sous flux d'azote chaud pour l'échange thermique et l'élimination des produits volatils de la réaction, soit discontinue dans des mélangeurs/sécheurs fonctionnant sous vide.

Polyamides (aliphatiques)

La structure macromoléculaire des polyamides comprend la fonction amide (-NH-CO-) qui donne aux produits finis leurs propriétés chimiques particulières. Les polyamides linéaires, connus sous le nom de nylons, d'après le nom original trouvé par la société américaine DuPont, sont les plus communs. Les polyamides forment une vaste famille, leur nombre d'atomes de carbone dans les monomères varie de 4 à 12.

Par exemple, le monomère du polyamide 6 est le ϵ -caprolactame, obtenu par polymérisation par étape. La matière première principale du polyamide 6-6 est une solution aqueuses de sels organiques (sel nylon) obtenue par la réaction du 1,6-hexaméthylène diamine et de l'acide 1,6-hexanedioïque (acide adipique).

Les polyamides sont produits par polymérisation discontinue ou continue. Après polymérisation, le polymère en fusion est extrudé et coupé pour former des granulés. Une extraction à l'eau chaude suivie par un séchage permet d'éliminer les oligomères et les monomères résiduels. Une étape d'extraction est nécessaire pour le recyclage des oligomères et des monomères.

Polymères thermodurcissables

La fabrication des polymères thermodurcissables comprend une réticulation chimique (formation de réseaux) de la structure moléculaire conduisant à un matériau qui ne fond pas, mais durcit sous l'action de la chaleur. Le produit intermédiaire réactif

solide ou liquide est transformé en produit fini chez le client par polymérisation en présence de durcisseurs ou de catalyseurs.

Résines phénoliques

Les résines phénoliques sont des polymères et des oligomères obtenus par réaction du phénol avec le formaldéhyde. Parmi les autres matières premières se trouvent les amines (hexaméthylène-tétramine). Les résines phénoliques se composent de :

- Novolaques (polymères solides obtenus par catalyse acide).
- Novolaques ortho (polymères à durcissement rapide obtenus par catalyse neutre).
- Résoles (rapport molaire formaldéhyde/phénol élevé, liquides ou solides, obtenus par catalyse alcaline).

Les résines phénoliques sont produites en discontinu, dans des réacteurs agités.

Polyesters insaturés

« Polyester insaturé » est le nom générique de nombreux polymères thermodurcissables, obtenus principalement par polycondensation d'un anhydride ou d'un diacide (ex. anhydride maléique, acide fumarique, anhydride phtalique, acide orthophtalique, acide isophtalique et acide téréphtalique) avec un diol (ex. éthylène glycol, diéthylène glycol, propylène glycol, butanediol, hexanediol, dipropylène glycol, néopentyl glycol et dicyclopentadiène). Ces produits de condensation sont dissous dans des monomères réactifs, normalement du styrène ou parfois du méthacrylate de méthyle, de l'acétate de t-butyle ou du phthalate de diallyle. La polymérisation de ce mélange entraîne la formation d'un réseau tridimensionnel. Des durcisseurs, accélérateurs, inhibiteurs et additifs sont également ajoutés à la fabrication.

La partie principale d'une usine de production de résine se compose d'un ensemble de réacteurs discontinus, alimentés par des systèmes de stockage et dosage des matières premières et de réservoirs de mélange pour la finition des produits. Les lignes comportent des systèmes d'échange de chaleur et des colonnes de distillation, des systèmes de production d'azote et des pompes à vide.

Alkydes

Les revêtements alkydes sont une classe de revêtements polyesters obtenus par réaction d'un alcool et d'un acide ou d'un anhydride d'acide. Ce sont les liants principaux de la plupart des revêtements à base d'huile. Les revêtements alkydes sont fabriqués à base d'anhydride d'acide (ex. anhydride phtalique ou anhydride maléique) et de polyols (ex. glycérine ou pentaérythritol). L'ajout d'acides gras insaturés (huiles végétales siccatives) modifie leurs propriétés et accélère le séchage à l'air. La vitesse de séchage d'un revêtement dépend de la quantité et du type d'huile siccative utilisée et de l'utilisation de sels organométalliques qui catalysent la réticulation. Selon leur teneur en huile siccative, les résines alkydes se classent en « longueur d'huile » : alkydes longues, moyennes ou courtes.

Il existe deux procédés de production des revêtements alkydes : par alcoolyse des acides gras ou des glycérides. Dans les deux cas, le produit résultant est une résine polyester du groupe des huiles siccatives. A l'issue du procédé, la résine est purifiée et diluée dans des solvants.

Polyuréthanes

L'industrie pétrochimique produit du polyuréthane brut. Des sociétés spécialisées sont ensuite chargées de la polymérisation et du mélange pour fabriquer les produits finis adaptés aux besoins des consommateurs. La principale réaction de synthèse du polyuréthane implique un diisocyanate (aromatique ou aliphatique) et un polyol (ex. polyéthylène glycol

ou polyester de polyol), en présence de catalyseurs, pigments
et additifs utilisés pour contrôler la structure et d'agents
moussants et de tensioactifs pour obtenir des mousses.