

produits pétroliers. Certains exploitants de pipelines ont un réseau téléphonique privé qui transmet les signaux le long de la canalisation; d'autres utilisent la radio ou des lignes de téléphones publiques. De nombreux pipelines ont des systèmes de transmission par micro-ondes ultrahaute fréquence pour les échanges informatiques entre le centre de régulation et les stations de pompage.

- *L'expédition des produits pétroliers.* Les produits pétroliers peuvent être expédiés de différentes manières. Dans un premier cas, le raffineur mélange son essence à des additifs spéciaux et expédie le lot de produit ainsi enrichi par pipeline jusqu'à son propre terminal pour distribution ultérieure à ses clients. Une autre méthode consiste, pour la raffinerie, à produire un lot d'essence appelé «frangible», élaboré pour répondre aux spécifications «produits» de l'exploitant d'un pipeline multiutilisateur, et à l'expédier aux terminaux de toute compagnie raccordés au pipeline. Dans une troisième méthode, les compagnies s'échangent des produits entre leurs terminaux afin d'éviter des transports et des manutentions supplémentaires. Les frangibles et les produits d'échange sont généralement mélangés et reçoivent des additifs au terminal d'arrivée, selon les spécifications de chaque compagnie qui s'y approvisionne. Enfin, certains produits sont expédiés par pipeline directement à de gros consommateurs commerciaux (carburateur aux aéroports, gaz aux compagnies de distribution et fioul aux centrales thermiques).
- *La réception des produits.* Les exploitants de pipelines et de terminaux devraient mettre au point des programmes pour la réception des produits et leur transfert dans les réservoirs et coordonner leurs actions en cas d'incident sur le pipeline ou au terminal nécessitant l'arrêt ou le déroutement du produit. Les instructions concernant la réception devraient porter sur les points suivants: vérifier qu'il y a une capacité suffisante en réservoirs pour stocker la quantité envoyée, manœuvrer les vannes des réservoirs et du terminal en prévision de la livraison, s'assurer que le produit est dirigé sur le bon réservoir, procéder à des prélèvements et des contrôles sur le lot au début du transfert, faire des changements de lots et des commutations entre réservoirs si nécessaire, contrôler les réceptions, s'assurer qu'il n'y a pas de débordements et maintenir les communications entre le pipeline et le terminal. Il est utile de prévoir des communications écrites entre les opérateurs du terminal, en particulier lorsqu'il y a un changement d'équipe durant un transfert de produit.

### **Le transport des lots et les interfaces entre lots**

Si, au début, les pipelines transportaient uniquement du pétrole brut, ils acheminent aujourd'hui tous les types de produits pétroliers liquides de différentes qualités. Comme ces produits sont transportés en lots qui se suivent, ils s'entremêlent et se mélangent aux interfaces. Trois méthodes sont possibles pour pallier cet inconvénient: déclassement de la partie hétérogène, utilisation de séparateurs solides ou liquides ou encore retraitement de la partie hétérogène. Des traceurs radioactifs, des colorants et des sphères de séparation peuvent être placés dans le pipeline pour localiser l'interface. Aux installations de réception, on utilise des détecteurs radioactifs, l'observation visuelle ou des contrôles de densité pour identifier les différents lots.

Les produits pétroliers sont normalement transportés de façon que se succèdent des lots de bruts ou de produits dérivés compatibles. La première méthode utilisée pour maintenir la qualité et l'intégrité des produits, appelée déclassement, consiste à abaisser l'interface entre les deux lots au niveau du produit de qualité inférieure. Par exemple, un lot de supercarburant à indice d'octane élevé sera en général expédié immédiatement avant ou après un lot d'essence ordinaire à indice d'octane faible, la petite quantité de produits mélangés étant déclassée comme essence ordinaire

dont l'indice d'octane est plus faible. Lors de l'expédition d'essence avant ou après un lot de gazole, on laisse une petite quantité de gazole de l'interface mélangée à l'essence, plutôt que de laisser de l'essence dans le gazole, ce qui pourrait abaisser son point d'éclair. Les interfaces entre lots sont en général détectées par observation visuelle, gravimétrie ou échantillonnage.

Avec la deuxième méthode, il est possible d'utiliser des séparateurs liquides ou solides, ou des racleurs afin de séparer physiquement et d'identifier différents lots de produits. Les séparateurs solides sont détectés par un signal radioactif et déviés du pipeline dans une gare spéciale installée au terminal quand le lot change d'un produit à l'autre. Les séparateurs liquides peuvent être de l'eau ou tout autre produit non miscible; les lots qu'ils séparent sont ensuite extraits et retraités. On peut aussi utiliser du kérosène déclassé sur un autre produit en stock ou recyclé.

La troisième méthode, souvent employée du côté raffinerie d'un pipeline, consiste à renvoyer l'interface pour qu'elle soit retraitée. Les produits et les interfaces qui ont été contaminés par de l'eau peuvent également être renvoyés pour être retraités.

### **La protection de l'environnement**

Étant donné les importantes quantités de produits transportés en permanence par pipeline, les risques d'atteintes à l'environnement par fuites sont réels. Selon les exigences de sécurité définies par l'exploitant ou par la réglementation, le type de construction du pipeline, son emplacement, les conditions météorologiques, son accessibilité et son mode d'exploitation, de grandes quantités de produit peuvent se répandre en cas de rupture de la canalisation ou de fuite. Il importe par conséquent d'élaborer des plans d'intervention en cas d'urgence et de pouvoir compter sur des matériels de rétention et de nettoyage, des personnels et des équipements. Des solutions simples, comme la construction de digues en terre ou de fossés de drainage, peuvent être rapidement mises en œuvre par des opérateurs expérimentés pour contenir ou canaliser le produit répandu.

### **L'entretien des pipelines et la préservation de la sécurité et de la santé des travailleurs**

Les premiers pipelines étaient en fonte. Les conduites principales modernes sont faites de tubes d'acier à haute résistance soudés, capables de supporter des pressions élevées. Des contrôles d'épaisseur sont régulièrement effectués sur les parois des tubes pour déterminer s'il y a corrosion interne ou accumulation de dépôts. Les soudures sont contrôlées visuellement et par gammagraphie pour détecter la présence de défauts. Des matières plastiques peuvent être utilisées pour les conduites basse pression de petit diamètre, les conduites d'écoulement et les conduites d'amenée installées dans les champs de production de gaz et de brut, les plastiques étant légers et faciles à manutentionner, assembler et transporter.

Lorsqu'un pipeline est séparé par découpe, écartement de brides, dépose d'une vanne, etc., il peut se former un arc électrostatique du fait de la tension qui est appliquée au pipeline par le système de protection cathodique, de la corrosion, des anodes sacrificielles, des lignes haute tension voisines ou des courants telluriques vagabonds. Ce risque peut être réduit par la mise à la terre de la canalisation, la mise hors tension des redresseurs de protection cathodique de part et d'autre de la séparation et la pose d'un câble de liaison de chaque côté de la conduite avant de commencer le travail. Lorsque des tronçons, des valves supplémentaires, etc. sont ajoutés à un pipeline en construction ou à un pipeline existant, il faut au préalable assurer la continuité électrique avec le pipeline déjà en place.

Le travail sur des pipelines devrait être interrompu en cas d'orage électrique. Les équipements de levage et de pose des tubes ne devraient pas être utilisés à moins de 3 m des lignes électriques

haute tension. Tous les véhicules et engins utilisés à proximité de ces lignes devraient avoir des bracelets traînants de mise à la terre. Les constructions métalliques provisoires devraient également être reliées à la terre.

Les pipelines reçoivent des revêtements intérieurs et extérieurs spéciaux contre la corrosion. Une protection cathodique peut également être nécessaire. Une fois que les tronçons ont reçu leurs couches de revêtement et d'isolation, ils sont assemblés par des brides de fixation spéciales reliées à des anodes métalliques. Le pipeline reçoit alors un courant continu provenant d'une source mise à la terre, de capacité suffisante pour lui permettre de faire fonction de cathode et de ne pas se corroder.

Avant d'être exploités, tous les tronçons d'un pipeline sont soumis à un essai hydrostatique, puis ces essais sont répétés, selon les prescriptions en vigueur ou les règles de l'exploitant, à intervalles réguliers pendant la durée de vie de l'ouvrage. L'air doit être chassé du pipeline avant l'essai et la pression hydrostatique augmentée ou diminuée suivant les normes de sécurité. Les pipelines sont régulièrement inspectés, généralement par voie aérienne, pour la détection visuelle des fuites, ou surveillés depuis le centre de commande au moyen de détecteurs de chute de débit ou de pression qui signalent toute rupture ou fuite de la conduite.

Les réseaux de pipelines sont équipés de systèmes d'alerte et de signalisation permettant aux opérateurs d'intervenir en cas d'incident. Ils peuvent avoir aussi des systèmes automatiques qui actionnent des vannes d'arrêt d'urgence en cas de détection d'une montée ou d'une baisse de pression. En règle générale, des vannes d'isolement, manuelles ou automatiques, sont placées à intervalles stratégiques le long du pipeline, par exemple aux stations de pompage et de part et d'autre des traversées de cours d'eau.

Il est important que les entreprises de construction ou autres effectuant des travaux à proximité d'un pipeline soient avisées de la présence de celui-ci, afin de ne pas risquer de l'endommager accidentellement et de provoquer une explosion de vapeurs ou de gaz et un incendie. En général, des règlements imposent des permis de construire; les exploitants de pipelines disposent d'un numéro central que les entrepreneurs peuvent appeler avant de commencer leurs travaux.

L'acheminement de pétrole brut et de produits inflammables par pipeline comporte un risque d'incendie ou d'explosion en cas de rupture de la conduite ou de fuite de vapeurs ou de liquides. La pression devrait être ramenée à un niveau de sécurité avant toute intervention sur les pipelines haute pression. Avant une réparation ou un entretien, quels qu'ils soient, impliquant un travail à chaud ou un piquage sur conduite en charge, un test de présence de gaz combustibles devrait être effectué et une autorisation être délivrée. Les liquides, vapeurs et gaz inflammables devraient être évacués du pipeline avant intervention. Si ce n'est pas possible et si un obturateur homologué doit être utilisé, des modes opératoires de sécurité seront définis et appliqués par des opérateurs qualifiés. La ligne devrait être ventilée à distance sûre du point d'intervention à chaud afin d'éliminer toute surpression qui aurait pris forme en arrière de l'obturateur.

Des procédures de sécurité appropriées devraient être établies pour les piquages sur conduites en charge, et les travaux être exécutés par des opérateurs qualifiés se conformant à ces procédures. En cas de soudage ou de piquage en charge dans une zone où il y a eu fuite ou déversement, l'extérieur de la conduite devrait être nettoyé du liquide présent, et le sol contaminé enlevé ou recouvert pour éviter un incendie.

Il est essentiel d'avertir les opérateurs des stations de pompage les plus proches situées de part et d'autre du point où une intervention doit être effectuée sur un pipeline en fonctionnement. Lorsque du brut ou du gaz sont pompés dans un pipeline par un producteur, l'exploitant du pipeline doit leur fournir des instructions précises sur les mesures à prendre lors d'une réparation,

d'un entretien ou d'une intervention d'urgence. Ainsi, avant le raccordement de réservoirs ou de lignes de production à un pipeline, toutes les vannes d'arrêt et tous les purgeurs des réservoirs et des lignes impliqués dans la jonction devraient être fermés et rester consignés jusqu'à la fin de l'opération.

Les précautions de sécurité normales relatives à la manutention des tubes et matériaux, aux expositions toxiques et dangereuses, aux opérations de soudage et aux travaux de terrassement s'appliquent durant la construction d'un pipeline. Les personnes travaillant à la préparation du terrain sur le tracé du pipeline devraient se prémunir contre les conditions climatiques, les plantes vénéneuses, les insectes, les serpents, les chutes d'arbres, de pierres, etc. Les fouilles et les tranchées devraient avoir des parois en pente ou être étayées pour éviter les éboulements lors de la construction ou de la réparation de pipelines enterrés (voir l'article «Les fouilles en tranchée» dans le chapitre n° 93, «Le bâtiment et les travaux publics»). Enfin, l'isolement ou la mise hors tension d'un transformateur ou d'un dispositif de coupure électrique devrait s'effectuer conformément aux règles de sécurité.

Les personnels d'exploitation et de maintenance des pipelines travaillent souvent seuls et sont responsables de tronçons d'une grande longueur. Ils devraient être munis d'appareils de contrôle de l'atmosphère et d'équipements de protection individuelle leur permettant, respectivement, de déterminer les niveaux d'oxygène et de gaz inflammables et de se protéger contre les émissions toxiques de sulfure d'hydrogène et de benzène dans l'accomplissement de leurs tâches. C'est le cas, par exemple, lors des jaugeages sur les réservoirs, de l'ouverture de conduites, du nettoyage de produits déversés, des échantillonnages et des contrôles, des manœuvres pour l'expédition ou la réception des produits, etc. Ils devraient porter des dosimètres personnels ou des dosimètres photographiques et éviter de s'exposer lorsqu'ils utilisent des indicateurs de densité, des porte-source ou d'autres matières radioactives. L'emploi d'équipements de protection individuelle devrait être envisagé contre les risques de brûlures par le bitume chaud utilisé dans les opérations de revêtement des conduites ou par les vapeurs toxiques contenant des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP).

### Les navires-citernes et les barges pétrolières

La majeure partie du pétrole brut dans le monde est transportée par navires-citernes, depuis les zones de production telles que le Moyen-Orient et l'Afrique vers les raffineries des zones de consommation comme l'Europe, le Japon et les Etats-Unis. Au début, les produits pétroliers étaient transportés dans de gros fûts sur des cargos. Le premier navire spécialisé, construit en 1886, pouvait transporter 2 300 tpl (tonnes de port en lourd). Les pétroliers géants d'aujourd'hui peuvent avoir plus de 300 m de long et une capacité près de 200 fois supérieure (voir figure 102.15). Les conduites d'amenée et d'alimentation aboutissent souvent à des terminaux portuaires ou à des appontements en mer, où le brut est chargé dans des navires ou des barges-citernes pour être transporté vers des conduites principales ou des raffineries. Les produits pétroliers sont eux aussi transportés par navires et barges des raffineries vers des terminaux de distribution. Après livraison de leur chargement, les navires retournent à vide vers leur installation de chargement pour une nouvelle rotation.

Le gaz naturel liquéfié (GNL) est transporté sous forme de gaz cryogénique dans des navires spécialisés dotés de compartiments ou de réservoirs à isolation renforcée (voir figure 102.16). Au port de livraison, le GNL est déchargé dans des installations de stockage ou des usines de regazéification. Les gaz de pétrole liquéfiés (GPL) peuvent être transportés sous forme liquide dans des navires ou des barges non isolés, ou sous forme cryogénique dans des navires isolés. En outre, les GPL en bouteille peuvent être transportés comme cargaison ordinaire sur des navires ou des barges.

Figure 102.15 • Le pétrolier *Paul L. Fahrney*

American Petroleum Institute

### Les navires transporteurs de gaz de pétrole liquéfiés et de gaz naturel liquéfié

Les trois types de navires utilisés pour le transport de GPL et de GNL sont:

- les navires avec réservoirs sous pression jusqu'à 2 MPa (GPL uniquement);
- les navires avec réservoirs calorifugés sous pression comprise entre 0,3 et 0,6 MPa (GPL uniquement);
- les navires cryogéniques avec réservoirs calorifugés sous une pression proche de la pression atmosphérique (GPL et GNL).

Le transport de gaz d'hydrocarbures liquéfiés par navire exige que l'on accorde une attention constante à la sécurité. Les flexibles de transfert devraient être adaptés aux températures et pressions des GHL manutentionnés. Pour éviter un mélange inflammable des vapeurs dégagées et de l'air, une couverture de gaz inerte (azote) devrait être prévue autour des réservoirs, et une détection des fuites assurée en permanence dans la zone avoisinante. Avant le chargement, il importe d'inspecter les réservoirs de stockage pour contrôler l'absence de contaminants. S'ils contiennent du gaz inerte ou de l'air, il faut d'abord les purger avec des vapeurs de GHL générées à la charge thermique maximale. Des systèmes de lutte contre l'incendie ainsi que des procédures pour tous les cas d'urgence possibles sont prévus pour les navires transporteurs de gaz.

### Les navires transporteurs de pétrole brut et de produits pétroliers

Sur les navires-citernes et les barges, les moteurs et le poste d'équipage sont à l'arrière, le reste du navire étant divisé en compartiments spéciaux (citernes) destinés au transport des combustibles liquides en vrac. Les pompes de cargaison sont installées dans la chambre des pompes, et des systèmes de ventilation forcée et d'inertage sont prévus pour réduire les risques d'incendie et d'explosion dans la chambre des pompes et dans les citernes. Les navires et les barges pétrolières modernes ont une double coque et d'autres dispositifs de protection et de sécurité, exigés par la loi sur la pollution par les hydrocarbures des Etats-Unis (1990) (United States Oil Pollution Act) et les normes de sécurité de l'Organisation maritime internationale (OMI) relatives aux pétroliers. Sur certains bâtiments nouveaux, la double coque est prolongée sur les côtés afin d'assurer une protection supplémentaire. En général, les gros pétroliers transportent du brut, et les petits pétroliers et les barges, des dérivés du pétrole.

- Les *pétroliers géants*. Les hyperpétroliers et les superpétroliers sont limités par leur taille et leur tirant d'eau à certaines routes. Les premiers ont une capacité supérieure à 300 000 tpl et les seconds une capacité allant de 160 000 à 300 000 tpl. La plupart des pétroliers géants n'appartiennent pas à des compagnies pétrolières, mais sont affrétés par des compagnies de transport qui se spécialisent dans leur exploitation.
- Les *navires-citernes*. Les navires-citernes sont plus petits que les superpétroliers et peuvent naviguer, en plus de la haute mer, dans des passages resserrés comme le canal de Suez ou le canal de Panama, ainsi que sur les hauts-fonds côtiers et dans les estuaires. Les gros navires-citernes, qui vont de 25 000 à 160 000 tpl, transportent généralement du brut ou des produits résiduels lourds. Les bâtiments plus petits, de capacité inférieure à 25 000 tpl, transportent en principe de l'essence, du fioul et des lubrifiants.
- Les *barges*. Les barges opèrent principalement dans les eaux côtières ainsi que sur les cours d'eau et les voies navigables intérieures, seules ou par groupes de deux au plus; elles sont automotrices ou remorquées/poussées. Elles peuvent transporter du brut vers les raffineries, mais sont le plus souvent utilisées comme moyen économique de transport des produits des raffineries vers les terminaux de distribution. Elles sont également employées pour décharger les gros pétroliers qui, en raison de leur tirant d'eau ou de leur taille, ne peuvent accoster à quai.

### Le chargement et le déchargement des navires et des barges

Des procédures de transfert navire-terre, des listes de contrôle de sécurité et des instructions devraient être établies et acceptées par les exploitants des terminaux et des navires. Le guide de la Chambre internationale de la marine marchande (International Chamber of Shipping, 1978) donne des informations et des exemples de listes de contrôle, principes directeurs, autorisations de travail et autres procédures visant la sécurité des opérations de chargement-déchargement, qui peuvent être utilisés par les exploitants de navires et de terminaux.

Bien que les navires reposent sur l'eau et soient, de ce fait, «mis à la terre», il faut néanmoins les protéger contre l'électricité statique qui peut se former durant les opérations de chargement-déchargement. A cette fin, on relie des objets métalliques du quai ou les parties métalliques des installations de chargement-déchargement au métal du navire. On utilise aussi des tuyaux souples ou rigides conducteurs. Par ailleurs, une étincelle électrostatique, d'intensité suffisante pour provoquer une inflammation, peut prendre naissance lorsque des équipements ou des appareils de mesure sont

Figure 102.16 • Le méthanier *Leo* en chargement à Arun dans l'île de Sumatra

American Petroleum Institute

descendus dans les compartiments immédiatement après le chargement; il faut donc attendre un temps suffisant pour permettre aux charges électrostatiques de se dissiper.

Des courants électriques navire-terre, différents de l'électricité statique, peuvent être engendrés par la protection cathodique de la coque du navire ou du quai, ou par des différences de potentiel galvanique entre le navire et la terre. Ces courants se forment également dans les équipements métalliques de chargement-déchargement. Des brides isolantes peuvent être intercalées dans le bras de chargement et au point où les flexibles se raccordent au système de pipeline à terre. Ainsi, lors du désaccouplement, une étincelle ne peut pas cheminer d'une surface métallique à une autre.

Tous les navires et terminaux ont besoin de procédures d'intervention d'urgence mutuellement convenues en cas d'incendie ou de rejet de produits, de vapeurs ou de gaz toxiques. Ces procédures devraient couvrir les opérations d'urgence, l'arrêt du débit et l'éloignement d'urgence du navire. Les plans d'action devraient viser les communications, la lutte contre l'incendie, l'élimination des nuages de vapeurs, l'aide mutuelle, les secours, le nettoyage et les mesures correctives. Les équipements portatifs et les systèmes fixes de lutte contre le feu devraient être conformes aux exigences officielles et aux normes internes et être adaptés à la taille, à la fonction, au potentiel de risque et à la valeur des installations à quai. Le guide susmentionné (International Chamber of Shipping, 1978) donne un exemple de notice anti-incendie qui peut être utilisée par les exploitants de terminaux pour la prévention des incendies à quai.

#### **La sécurité et la santé à bord des navires**

En plus des risques professionnels habituels en mer, le transport de brut et de produits inflammables crée un certain nombre de situations spéciales au regard de la sécurité, de la santé et de la prévention des incendies: soulèvement de niveau et mouvements de la cargaison liquide, risques liés aux vapeurs inflammables pendant le transport et les opérations de chargement-déchargement, possibilité d'inflammation pyrophorique, expositions à des substances toxiques telles que le sulfure d'hydrogène et le benzène et considérations de sécurité lors du dégazage, du rinçage et du nettoyage des citernes. L'économie d'exploitation des pétroliers modernes nécessite qu'ils soient en mer pendant de longues périodes avec seulement de courts arrêts au port pour charger ou décharger. Si l'on ajoute le fait que les navires-citernes sont hautement automatisés, il en résulte des contraintes mentales et physiques particulières pour des équipages par ailleurs restreints.

#### **La protection contre les incendies et les explosions**

Il faut concevoir et mettre en œuvre des plans et des procédures d'urgence en fonction du type de cargaison et des autres risques potentiels. Des équipements de lutte contre le feu devraient être prévus. Les membres des équipes chargées de la lutte contre le feu, des secours et du nettoyage des déversements à bord devraient être formés, exercés et équipés pour faire face aux urgences potentielles. L'eau, la mousse, les produits chimiques secs, le halon, le dioxyde de carbone et la vapeur d'eau sont utilisés comme agents de refroidissement, d'inhibition et d'extinction du feu à bord des navires, encore que le halon soit progressivement abandonné pour des raisons écologiques. Les prescriptions applicables aux équipements et systèmes de lutte contre le feu à bord des navires sont définies par le pays du pavillon du bâtiment et par la compagnie, mais elles suivent en général les recommandations de la convention internationale de 1974 pour la sauvegarde de la vie humaine en mer (SOLAS).

Pour réduire les risques d'incendie et d'explosion, il faut contrôler strictement et en permanence les flammes ou lumières nues, les cigarettes allumées, les arcs de soudage, les étincelles de meulage, les équipements électriques et les lampes non protégées. Si

un travail à chaud doit être exécuté, la zone devrait être préalablement examinée et testée pour s'assurer que la sécurité n'est pas engagée, et une autorisation devrait être délivrée pour chaque tâche spécifique.

Un moyen de prévenir les explosions et les incendies dans les espaces libres des citernes où règnent des vapeurs est de maintenir le taux d'oxygène au-dessous de 11% en inertant l'atmosphère au moyen d'un gaz non combustible. Les gaz inertes sont fournis par les gaz d'échappement des chaudières du navire, un générateur de gaz indépendant ou une turbine à gaz équipée d'un système de postcombustion. La convention SOLAS exige que les navires transportant des cargaisons ayant un point d'éclair inférieur à 60 °C aient des compartiments dotés de systèmes d'inertage. Sur les navires utilisant de tels systèmes, les citernes devraient être maintenues en permanence en condition d'inflammabilité. Une surveillance continue des compartiments est indispensable pour garantir la sécurité et empêcher qu'ils ne deviennent inflammables en raison du risque posé par les dépôts pyrophoriques.

#### **Les espaces confinés**

Les espaces confinés à bord des navires (compartiments pour la cargaison, réserves de peintures, salles des pompes, soutes à combustible et espaces entre la double coque) devraient être traités comme n'importe quel espace confiné pour ce qui est de l'autorisation d'accès et des travaux à chaud. Il faut y mesurer les teneurs en oxygène, les vapeurs inflammables et les substances toxiques, dans cet ordre, avant d'y accéder, et instaurer un système d'autorisation de travail indiquant les niveaux admissibles d'exposition et les équipements de protection individuelle requis. Dans les eaux territoriales des États-Unis, ces contrôles peuvent être faits par des spécialistes appelés chimistes de la marine.

Les compartiments des navires tels que les citernes à cargaisons et les salles des pompes sont des espaces confinés. Lorsqu'on nettoie ceux qui ont été rendus inertes ou contiennent des atmosphères inflammables, toxiques ou inconnues, il faudrait y faire des mesurages et suivre des procédures spéciales de sécurité et de protection respiratoire. Après déchargement des cargaisons de brut, de petites quantités de résidus adhérents subsistent sur les parois intérieures des citernes, que l'on peut laver et remplir d'eau de ballast. Une méthode permettant de réduire la quantité de résidus consiste à installer des équipements fixes qui éliminent jusqu'à 80% en lavant les parois des compartiments rendus inertes avec du pétrole brut pendant le déchargement.

#### **Les pompes, les vannes et les équipements**

Il faudrait disposer d'une autorisation de travail et respecter les pratiques de sécurité (telles que mise à la terre, vidange, dégazage, mesurage des vapeurs inflammables et des expositions toxiques, fourniture d'équipements de protection incendie) pour toute opération qui, pour les besoins du fonctionnement du navire, d'un entretien ou d'une réparation, nécessite l'ouverture des pompes de cargaison, des conduites, des vannes ou des équipements installés à bord.

#### **Les expositions toxiques**

Le risque que les gaz rejetés (gaz de combustion, sulfure d'hydrogène, etc.) atteignent les ponts des navires existe, même avec des systèmes d'évacuation spécialement conçus. Des contrôles devraient être effectués en continu pour déterminer les concentrations de gaz inertes sur tous les navires et les concentrations de sulfure d'hydrogène sur ceux qui contiennent ou ont transporté du brut soufré ou du fioul résiduel. Des contrôles de l'exposition au benzène devraient être réalisés sur les navires transportant du brut et de l'essence. Les eaux usées et les condensats des laveurs de gaz inertes sont acides et corrosifs et il est donc préconisé de porter des équipements de protection individuelle lorsqu'il y a risque de contact.

### La protection de l'environnement

Pour les navires et les terminaux, il faudrait prévoir des procédures et des matériels permettant de protéger l'environnement contre les déversements accidentels en mer et sur terre, ainsi que contre les rejets de vapeurs dans l'atmosphère. L'emploi d'importants systèmes de récupération des vapeurs se généralise dans les terminaux maritimes. Les purges à l'atmosphère des compartiments et espaces clos des navires devraient être faites dans le respect des règlements sur la pollution atmosphérique. Il conviendrait de prévoir des procédures d'urgence, des équipements appropriés et des personnels convenablement formés pour intervenir en cas de déversements accidentels ou de fuites de brut ou de liquides inflammables ou combustibles. Il faudrait aussi que soit désigné un responsable chargé de signaler à la compagnie et aux autorités compétentes tout déversement ou rejet dont la déclaration est obligatoire.

Dans le passé, les eaux de ballast souillées par les hydrocarbures et les eaux de lavage des citernes étaient rejetées à la mer. Aux termes de la convention internationale pour la prévention de la pollution par les navires, 1973, le résidu d'hydrocarbures doit être séparé de l'eau avant que celle-ci ne soit évacuée en mer, et gardé à bord pour être ensuite traité à terre. Les pétroliers modernes ont des systèmes de ballast séparés, avec des conduites, des pompes et des chambres, différents de ceux qui sont utilisés pour la cargaison (conformément aux recommandations internationales), ce qui évite tout risque de contamination. Les navires plus anciens continuent à se ballaster dans leurs citernes; ils doivent donc suivre des procédures spéciales, telles que le pompage de l'eau contenant du pétrole dans des cuves et installations de traitement spéciales à terre, pour éviter toute pollution.

### Le transport des produits pétroliers par route et par rail

Le pétrole brut et les produits pétroliers ont d'abord été transportés dans des citernes tirées par des chevaux, puis dans des wagons-citernes et, enfin, par des véhicules à moteur. Une fois livrés dans les terminaux par des navires ou des pipelines, les produits pétroliers liquides en vrac sont acheminés directement par wagons-citernes ou camions-citernes sans pression intérieure aux stations-service et aux consommateurs ou à des installations de stockage en vrac pour être redistribués. Les gaz de pétrole liquéfiés (GPL), les composés antidétonants de l'essence, l'acide fluorhydrique et beaucoup d'autres produits, substances chimiques et additifs employés dans l'industrie du pétrole et du gaz, sont acheminés par wagons-citernes et camions-citernes sous pression. Le brut peut aussi être transporté par camions-citernes des petits puits de production vers des réservoirs de collecte, et par camions-citernes et wagons-citernes des réservoirs de stockage vers les raffineries ou pipelines principaux. Les produits pétroliers conditionnés dans des récipients de vrac, des fûts ou des caisses de petits récipients sont transportés dans des camions ordinaires ou des wagons couverts.

### Les règlements officiels

Le transport de produits pétroliers par véhicules routiers ou ferroviaires est réglementé dans la plupart des pays. Des autorités telles que le ministère des Transports des États-Unis (United States Department of Transportation (USDOT)) et l'Office des transports du Canada (OTC) (Canadian Transportation Agency (CTA)) ont établi des règlements régissant la conception, la construction, les dispositifs de sécurité, les essais, la maintenance préventive, l'inspection et l'exploitation des camions-citernes et des wagons-citernes. Les règlements applicables aux camions-citernes et aux wagons-citernes portent en général sur les essais et l'homologation des dispositifs de pression et de décompression des citernes avant la première mise en service, puis à intervalles réguliers. Parmi les organismes publiant des spécifications et des prescriptions sur la

sécurité des citernes routières et ferroviaires, on peut citer notamment l'Association des chemins de fer américains (Association of American Railroads (AAR)) et l'Association nationale de protection contre l'incendie (National Fire Protection Association (NFPA)). La plupart des pays se sont dotés de règlements ou adhèrent aux conventions de l'Organisation des Nations Unies (ONU) qui imposent l'identification et la fourniture d'informations sur les matières dangereuses et les produits pétroliers expédiés en vrac ou dans des récipients. Les wagons-citernes, les camions-citernes et les camions ordinaires devraient porter des panneaux identifiant les produits dangereux qu'ils transportent et donnant les instructions pour les interventions d'urgence.

### Les wagons-citernes

Les wagons-citernes sont construits en acier au carbone ou en aluminium et peuvent être sous pression ou non. Les wagons-citernes modernes peuvent contenir jusqu'à 171 000 litres de gaz comprimé à des pressions pouvant atteindre 4,1 MPa. On est passé des petits wagons-citernes en bois de la fin du XIX<sup>e</sup> siècle aux énormes wagons-citernes d'aujourd'hui qui peuvent transporter 1,31 million de litres de produits sous des pressions de 0,6 MPa. Ces citernes, qui peuvent comporter un ou plusieurs compartiments, sont acheminées soit en wagons isolés chargés individuellement, soit en rames complètes de wagons-citernes, qui peuvent être chargés et déchargés en un seul point. Les citernes, sous pression ou non, peuvent être chauffées, réfrigérées, isolées ou ignifugées en fonction du service assuré et des produits transportés.

Tous les wagons-citernes ont des vannes de chargement-déchargement, montées en partie haute ou basse, et des trappes d'accès pour le nettoyage. Ils sont également équipés de dispositifs destinés à empêcher l'augmentation de la pression interne en cas d'exposition à des conditions anormales. Ces dispositifs comprennent des soupapes de sûreté maintenues fermées par un ressort et qui s'ouvrent pour laisser échapper une certaine quantité de fluide, puis se referment, ou des disques de rupture qui éclatent en cas de surpression et ne peuvent pas se refermer ensuite, ou bien les deux. Les citernes à pression atmosphérique sont pourvues d'une soupape de dépression qui empêche la formation d'un vide en cas de soutirage par le bas. Toutes les citernes, sous pression ou non, comportent des logements protecteurs autour des connexions de chargement en partie haute, ainsi que des prises pour l'échantillonnage, des puits de thermomètre et des dispositifs de jaugeage. Elles sont parfois dotées, en partie supérieure, de passerelles pour les opérateurs. Les citernes anciennes peuvent comporter un ou plusieurs dômes d'expansion. Les citernes sont équipées en partie basse de vannes pour le déchargement et le nettoyage. Enfin, des boucliers sont prévus aux extrémités des wagons-citernes pour éviter la perforation du réservoir par l'attelage d'un autre wagon en cas de déraillement.

Le gaz naturel liquéfié est transporté sous forme de gaz cryogénique dans des camions-citernes ou des wagons-citernes sous pression isolés, qui ont un réservoir intérieur en acier inoxydable suspendu dans un réservoir extérieur en acier au carbone. L'espace vide annulaire est garni d'un matériau isolant qui maintient une température basse durant le transport. Pour éviter les retours de gaz enflammé vers les citernes, celles-ci sont équipées de deux vannes d'isolement d'urgence, télécommandées, à sécurité intégrée, sur les conduites de remplissage et de déchargement; elles ont également des indicateurs de niveau sur leurs réservoirs intérieur et extérieur.

Les GPL sont transportés dans des wagons-citernes (jusqu'à 130 m<sup>3</sup> de capacité) ou des camions-citernes (jusqu'à 40 m<sup>3</sup>) spéciaux qui sont en général des cylindres en acier, non isolés, à fonds sphériques, pourvus de jauges, de thermomètres, de deux soupapes de surpression, d'un détecteur de niveau de gaz, d'un indicateur de remplissage maximal et de chicanes.

Les wagons-citernes de transport de GNL ou de GPL ne devraient pas être surchargés car ils peuvent rester sur des voies d'évitement pendant des périodes assez longues et se trouver exposés à des températures élevées qui pourraient provoquer des surpressions et des dégazages. Les plates-formes de chargement ont des fils de connexion et des câbles de mise à la terre pour aider à neutraliser et à dissiper l'électricité statique; il importe de les connecter avant le début des opérations et de ne les désaccoupler qu'à la fin, après avoir fermé tous les robinets. La protection incendie des postes de chargement des citernes ferroviaires et routières est en général assurée par des systèmes de pulvérisation d'eau ou de brumisation, ou par des extincteurs.

### **Les camions-citernes**

Les citernes des camions transportant du brut et des produits pétroliers sont en général en acier au carbone, en aluminium ou en fibre de verre plastifiée et peuvent contenir de 1 900 à 53 200 litres pour les plus grandes d'entre elles. La capacité des camions-citernes est fixée par la réglementation et dépend habituellement des contraintes imposées par les routes et les ouvrages d'art, du poids admissible par essieu ou de la quantité totale de produit autorisée.

Les camions-citernes peuvent être sous pression ou non, isolés ou non, selon le service assuré et le produit transporté. Les citernes sous pression ont en général un seul compartiment; celles à pression atmosphérique peuvent en avoir plusieurs. Quel que soit le nombre de compartiments, chacun d'eux doit être considéré individuellement, avec ses propres dispositifs de chargement-déchargement et de sécurité. Ces compartiments sont séparés par des cloisons simples ou doubles. Les règlements peuvent imposer que les produits incompatibles et les liquides inflammables et combustibles transportés dans des compartiments différents d'une même citerne soient séparés par des doubles cloisons. Lors des essais de pression des compartiments, il faut également vérifier qu'il n'y ait pas de liquides ou de vapeurs entre les cloisons.

Les camions-citernes ont des trappes de chargement par le haut, ou des vannes pour le chargement-déchargement en circuit fermé par le haut ou par le bas, ou bien les deux. Tous les compartiments ont des trous d'homme pour le nettoyage et sont dotés de dispositifs de sécurité pour atténuer la pression interne en cas d'exposition à des conditions anormales. Ces dispositifs peuvent être soit des soupapes de sûreté maintenues fermées par un ressort, qui s'ouvrent pour décharger l'excès de pression et se referment ensuite, soit des trappes qui s'ouvrent en cas de défaillance des soupapes de sûreté (sur les citernes à pression atmosphérique), soit encore des disques de rupture (sur les citernes sous pression). Les citernes à pression atmosphérique sont munies d'une soupape de dépression qui évite une dépression lors d'un soutirage par le bas. Les citernes à pression atmosphérique ont des rambardes de protection des trappes de chargement en partie haute, des valves de surpression et un système de récupération des vapeurs en cas d'accident avec renversement du véhicule. Les camions-citernes sont généralement équipés de dispositifs à fermeture automatique installés sur les vannes et accessoires de chargement-déchargement en partie basse des compartiments pour prévenir les fuites de produit en cas de collision ou de renversement du véhicule.

### **Le chargement et le déchargement des wagons-citernes et des camions-citernes**

Si les wagons-citernes sont presque toujours chargés et déchargés par des opérateurs spécialement affectés à ces tâches, les camions-citernes peuvent l'être aussi bien par des chargeurs que par des chauffeurs. Les wagons-citernes et les camions-citernes sont chargés dans des installations spéciales, les rampes de chargement. Le chargement se fait par le haut à travers une trappe ou en circuit fermé. Le chargement en dôme peut s'effectuer à l'air libre par

une trappe ou en circuit fermé par branchement de raccords. Le chargement en source se fait en circuit fermé.

### **Le chargement**

Les opérateurs qui chargent et déchargent le brut, les gaz de pétrole liquéfiés, les produits pétroliers, ainsi que les acides et additifs utilisés dans l'industrie pétrolière et gazière devraient avoir un minimum de connaissances sur les caractéristiques des produits qu'ils manipulent, leurs risques et les expositions admissibles. Ils devraient également connaître les procédures opératoires et les pratiques de travail leur permettant de s'acquitter de leurs tâches en sécurité. Souvent, les organismes réglementaires et les sociétés imposent que des formulaires d'inspection soient complétés lors de la réception et de l'expédition et avant le chargement ou le déchargement des citernes ferroviaires ou routières. Celles-ci peuvent être remplies par les trappes du haut ou par des raccords et robinets situés en haut ou en bas de chaque citerne ou compartiment. Le circuit fermé est exigé pour les chargements sous pression et lorsqu'il y a des systèmes de récupération des vapeurs. Si, pour une raison quelconque, le système de chargement ne se met pas en marche (par exemple, défaut du système de récupération des vapeurs ou du système de mise à la terre), il faut requérir une autorisation pour procéder au remplissage par un autre moyen. Les trappes devraient être refermées et verrouillées durant le transport.

Les opérateurs devraient observer les règles de sécurité pour éviter les glissades et les chutes lors des chargements en dôme. Si les commandes de chargement sont à prédétermination, ils devraient veiller à ce que les produits soient chargés dans les citernes et les compartiments prévus. Toutes les trappes devraient être fermées lors des chargements en source et, lors des chargements en dôme, seule celle par laquelle s'effectue l'opération devrait être ouverte. Pour les chargements en dôme, le remplissage «en pluie» sera évité en descendant le tube ou le flexible plongeur jusqu'au fond du compartiment et en ouvrant le débit lentement, jusqu'à ce que le liquide recouvre graduellement l'embouchure du tube. Lors d'un chargement manuel en dôme, les opérateurs devraient rester présents, ne pas bloquer la commande de coupure automatique et ne pas trop remplir le compartiment. Lors des remplissages en dôme à ciel ouvert, ils éviteront de s'exposer au produit et aux vapeurs en se tenant sous le vent et en détournant la tête. Lors de maintenances d'additifs, de prélèvements d'échantillons ou de vidanges de flexibles, ils porteront un équipement de protection. Enfin, les opérateurs devraient connaître et observer la marche à suivre en cas de rupture d'un flexible ou d'une conduite, de déversement, de fuite, d'incendie ou d'autre situation d'urgence.

### **Le déchargement et la livraison**

Lors du déchargement de wagons-citernes et de camions-citernes, il est essentiel de s'assurer d'abord que le produit est transféré dans le bon réservoir de stockage et que celui-ci a la capacité voulue. Bien que les vannes, tuyaux, conduites et couvercles du circuit de remplissage des réservoirs soient normalement repérés par des codes de couleur, ou marqués d'une autre manière pour indiquer la nature du produit contenu, le conducteur devrait rester responsable de la qualité du produit pendant la livraison. Les erreurs de livraison, mélanges de produits ou contamination devraient être immédiatement signalés au destinataire et à la compagnie pour éviter des conséquences graves. Lorsque les conducteurs ou les opérateurs doivent ajouter des produits ou prélever des échantillons dans les réservoirs de stockage après la livraison, par exemple pour s'assurer de la qualité du produit, ils devraient se conformer aux règles de sécurité et de santé applicables. Les personnes effectuant des opérations de livraison et de déchargement devraient être présentes en permanence et connaître la marche à suivre en cas d'urgence, notamment qui avertir, com-

ment arrêter le débit et nettoyer les déversements accidentels et quand quitter la zone.

Les citernes sous pression peuvent être déchargées par compresseur ou pompe et les citernes à pression atmosphérique par gravité, pompe du véhicule ou pompe du destinataire. On décharge parfois les wagons-citernes et les camions-citernes qui transportent des lubrifiants ou des huiles industrielles, des additifs et des acides en mettant sous pression la citerne avec un gaz inerte tel que l'azote. Il peut être nécessaire de chauffer les citernes à l'aide de serpentins de vapeur ou électriques pour décharger les bruts lourds, les produits visqueux et les paraffines. Toutes ces activités comportent des risques. Lorsque les règlements l'exigent, le déchargement ne devrait pas commencer tant que les conduites de récupération des vapeurs n'ont pas été branchées entre la citerne de livraison et le réservoir de stockage. Lors des livraisons de produits pétroliers aux particuliers, aux exploitations agricoles et aux commerces, les conducteurs devraient jauger les cuves qui ne sont pas équipées d'un évent à sifflet pour prévenir un remplissage excessif.

### **La protection incendie sur les rampes de chargement**

Des incendies et des explosions peuvent se produire sur les rampes de chargement des camions-citernes et des wagons-citernes par suite de l'accumulation de charges électrostatiques, de la formation d'arcs dangereux dans une atmosphère inflammable, de travaux à chaud non autorisés, de retour de flamme d'une unité de récupération des vapeurs, du non-respect de l'interdiction de fumer et d'autres pratiques contraires à la sécurité.

Il importe d'éviter les sources d'inflammation telles que cigarettes, moteurs à combustion interne en marche et travaux à chaud à tout moment et, en particulier, lors des chargements et autres opérations comportant un risque de déversement ou de fuite de produit. Les postes de chargement peuvent être équipés d'extincteurs portatifs et de dispositifs d'extinction à mousse, à eau ou à poudre chimique à fonctionnement manuel ou automatique. Les systèmes de récupération des vapeurs devraient être dotés de pare-flammes empêchant les retours de flamme de l'unité de récupération vers la rampe de chargement.

Un système de drainage sera prévu pour évacuer les produits répandus hors de la zone de chargement. Ces systèmes devraient être équipés de pièges à feu pour empêcher la propagation de flammes ou de vapeurs vers le réseau d'égouts. Les autres dispositifs de sécurité comprennent des commandes d'arrêt d'urgence aux points de chargement et en d'autres endroits stratégiques du terminal, ainsi que des vannes automatiques à détection de pression qui arrêtent l'écoulement du produit vers la rampe en cas de fuite dans les conduites. Certaines sociétés installent sur leurs sites de chargement de camions-citernes des systèmes automatiques de blocage des freins qui empêchent le départ du véhicule tant que les conduites de remplissage n'ont pas été désaccouplées.

### **Les risques dus à l'électricité statique**

Certains produits comme les distillats intermédiaires et les carburants et les solvants à faible pression de vapeur tendent à accumuler des charges électrostatiques. Lors du chargement des wagons-citernes et des camions-citernes, il y a toujours un risque de générer des charges électrostatiques par friction lorsque le produit passe dans les conduites et les filtres et lors du remplissage en pluie. Pour limiter ce risque, on peut concevoir des rampes de chargement permettant un temps de relaxation dans les tuyauteries en aval des pompes et des filtres. Il faut s'assurer que les compartiments ne contiennent pas d'objets flottants pouvant faire office d'accumulateurs d'électricité statique. Les compartiments chargés en source peuvent être équipés de câbles internes favorisant la dissipation des charges électrostatiques. Avant de descendre des appareils d'échantillonnage, des thermomètres ou d'autres objets dans les comparti-

ments, il faudrait attendre au moins une minute pour permettre aux charges électrostatiques qui ont pu s'accumuler de se dissiper.

La mise à la terre est une précaution importante pour la dissipation des charges électrostatiques qui s'accumulent pendant les opérations de chargement. En maintenant la conduite de remplissage en contact avec le côté métallique de la trappe lors du remplissage en dôme et en utilisant des bras de chargement métalliques ou des flexibles conducteurs pour les remplissages en circuit fermé, le wagon ou le camion se trouvent reliés électriquement à la rampe de remplissage; la même charge électrique est ainsi maintenue entre les objets, ce qui empêche la formation d'une étincelle lorsque le tube ou le flexible de chargement est retiré. On peut aussi utiliser un câble de liaison entre le véhicule et la rampe de chargement, de manière à transporter les charges accumulées jusqu'à la rampe qui est elle-même mise à la terre par un câble et une tige de mise à la terre. Des précautions analogues sont nécessaires lors des déchargements. Certaines rampes de chargement disposent de capteurs et de connecteurs électroniques qui empêchent le démarrage des pompes tant qu'une bonne continuité électrique n'est pas assurée.

Pendant les opérations de nettoyage, d'entretien ou de réparation des wagons-citernes et des camions-citernes de transport de gaz sous pression, on ouvre habituellement les citernes à l'atmosphère pour permettre l'entrée d'air. Lors du premier chargement effectué ensuite, pour éviter une inflammation due aux charges électrostatiques, il faut ramener le niveau d'oxygène à moins de 9,5% en isolant la citerne avec un gaz inerte tel que l'azote. Il faut également veiller à ne pas introduire d'azote liquide dans la citerne lorsqu'on utilise des bouteilles portatives.

### **Le chargement successif de deux produits différents**

Lorsque des produits à faible ou à moyenne pression de vapeur (gazole ou fioul) sont chargés dans un compartiment ayant contenu un produit inflammable comme l'essence, l'électricité statique générée durant le remplissage peut se décharger dans une atmosphère qui se trouve dans la plage d'inflammabilité et provoquer un incendie. Pour pallier ce danger, lors des remplissages en dôme, il faudrait descendre le tube de remplissage au fond du compartiment et ouvrir le débit lentement jusqu'à ce que l'extrémité du tube soit submergée, ce qui évite le remplissage en pluie et l'agitation du liquide. Le contact métal/métal devrait être maintenu pour assurer une bonne continuité électrique entre le tube de chargement et la trappe de la citerne. Pour le chargement en source, un remplissage lent ou des déflecteurs de projections sont utilisés pour réduire l'accumulation de charges électrostatiques. Avant toute permutation de produit, les citernes que l'on ne peut entièrement vidanger peuvent être rincées avec une petite quantité du produit à charger afin d'éliminer tout résidu inflammable dans les puisards, conduites, vannes et pompes du véhicule.

### **Le transport des produits par wagons couverts et par camions de détail**

Les produits raffinés sont livrés par camions de détail ou par wagons couverts lorsqu'ils sont conditionnés en charges unitaires dans des récipients de métal, de fibre ou de matière plastique de tailles diverses: fûts de 210 litres, seaux de 20 litres et récipients de 1 à 10 litres sous suremballage de carton ondulé et généralement sur palette. De nombreux produits destinés à des clients industriels et commerciaux sont souvent livrés en gros récipients de vrac en métal, plastique ou matériau mixte métal/plastique, d'une capacité allant de 380 à plus de 2 660 litres. Les gaz de pétrole liquéfiés sont livrés dans des bouteilles sous pression, grandes ou petites. Les échantillons de pétrole brut, de produits raffinés et de produits usés sont expédiés par la poste ou la messagerie à des laboratoires, pour expertise. Tous ces produits, récipients et emballages devraient être manipulés conformément aux règlements

applicables aux produits chimiques dangereux, aux liquides inflammables et combustibles et aux substances toxiques. Il faut pour cela des manifestes de matières dangereuses, documents d'expédition, autorisations, bons de réception et autres formalités exigées telles que le marquage des suremballages, récipients, camions et wagons, avec l'identification correcte des produits et une étiquette signalant le danger. Une utilisation rationnelle des camions et des wagons est importante pour l'industrie pétrolière. Comme les capacités de stockage sont limitées, les délais d'acheminement doivent être respectés, qu'il s'agisse de la livraison de brut pour maintenir les raffineries en activité, de la livraison d'essence aux stations-service, de la livraison de lubrifiants aux clients commerciaux et industriels ou encore de celle de fioul aux particuliers.

Les GPL sont livrés aux consommateurs par des camions-citernes de vrac qui pompent le produit directement dans de petits réservoirs de stockage sur site; ceux-ci peuvent être aériens ou enterrés (comme pour les stations-service, exploitations agricoles, consommateurs industriels et commerciaux, etc.). Ces gaz sont également livrés en bouteilles par camions ou camionnettes. Le GNL est livré dans des récipients cryogéniques spéciaux qui comportent un réservoir intérieur entouré d'une isolation et d'une enveloppe extérieure. Il existe des récipients similaires pour les véhicules et appareils fonctionnant au GNL. Le gaz naturel comprimé est normalement livré en bouteilles classiques de gaz comprimés, comme celles utilisées sur les chariots élévateurs industriels.

En plus des précautions normales de sécurité et de santé applicables aux opérations de transport de charges unitaires par wagons et camions (déplacement et manutention d'objets lourds, conduite de chariots industriels, etc.), les opérateurs devraient connaître les risques associés aux produits qu'ils manutentionnent et transportent et savoir comment réagir en cas de déversement accidentel, de rejet ou de toute autre situation d'urgence. Il faudrait, par exemple, éviter de jeter à terre depuis le camion ou par le hayon arrière les fûts et les récipients intermédiaires de vrac. Les entreprises et les autorités administratives ont défini des règles et des prescriptions spéciales pour les conducteurs et les opérateurs se chargeant du transport et de la livraison de produits pétroliers inflammables et dangereux.

Les chauffeurs de camions-citernes et de camions ordinaires travaillent souvent seuls et peuvent être appelés à parcourir de grandes distances pendant plusieurs jours pour livrer la marchandise. Ils travaillent de jour comme de nuit, et par tous les temps. Manœuvrer un maxiciterne dans les stations-service et sur les lieux de livraison sans heurter des véhicules stationnés ni des objets fixes exige de la patience, de l'habileté et de l'expérience; les chauffeurs devraient posséder les qualités physiques et mentales indispensables.

La conduite des camions-citernes est différente de celle des camions ordinaires en ceci que le chargement liquide oscille vers l'avant lors des freinages, vers l'arrière lors des accélérations et d'un côté à l'autre dans les virages. Les compartiments des camions-citernes devraient par conséquent être équipés de chicanes pour prévenir un ballonnement excessif. Une très grande habileté est requise des chauffeurs pour maîtriser l'inertie créée par ce phénomène. D'autre part, ils doivent parfois se ravitailler eux-mêmes à partir des réservoirs de stockage. Cette opération exige des équipements spéciaux, notamment des tuyaux d'aspiration et des pompes de transfert, ainsi que des précautions particulières comme la prévention des fuites accidentelles de liquides ou de vapeurs et la mise à la terre pour dissiper les charges d'électricité statique.

#### **Les procédures d'urgence pour les camions-citernes et les wagons-citernes**

Les chauffeurs et les opérateurs devraient connaître la chaîne de notification d'alerte et les mesures d'urgence à prendre en cas

d'incendie ou de déversement accidentel de liquide ou de rejet de gaz ou de vapeurs. Les wagons-citernes et les camions-citernes comportent des plaques d'identification du produit et des dangers, conformes aux normes de marquage de la profession, des associations industrielles ou des règlements nationaux, pour permettre aux services d'intervention de connaître les précautions à prendre. Les chauffeurs des camions-citernes et les personnels des trains peuvent être également tenus d'avoir sur eux les fiches de données de sécurité (FDS) ou autres documents décrivant les risques et les précautions à prendre pour la manutention des produits transportés. L'employeur ou l'administration exige parfois que les véhicules chargés de liquides inflammables ou de matières dangereuses soient équipés de trousse de premier secours, d'extincteurs, de matériels de nettoyage des produits répandus et d'appareils de signaux de détresse permettant d'alerter les automobilistes en cas d'immobilisation du camion sur le bord de la route.

Des techniques et des équipements spéciaux sont nécessaires quand il faut vider une citerne ferroviaire ou routière à la suite d'un accident ou d'un renversement. La méthode d'élection consiste à utiliser des tubes fixes munis de vannes ou des plaques spéciales sur les trappes des citernes. Dans certaines conditions, toutefois, la seule solution consiste à pratiquer une ouverture dans la citerne, tout en s'entourant des précautions nécessaires. Dans tous les cas, la citerne accidentée devrait être mise à la terre et la continuité électrique assurée avec la citerne réceptrice.

#### **Le nettoyage des citernes ferroviaires et routières**

Pénétrer à l'intérieur d'une citerne pour l'inspecter, la nettoyer, l'entretenir ou la réparer est une activité dangereuse qui exige que toutes les prescriptions concernant la ventilation, les tests préalables, le dégazage, les autorisations d'entrée dans la citerne et de réalisation des travaux, etc., soient respectées. Le nettoyage des véhicules-citernes n'est en rien différent du nettoyage des réservoirs de stockage d'hydrocarbures et est soumis aux mêmes précautions et procédures quant à la prévention. Les citernes peuvent contenir des résidus de matières inflammables, dangereuses ou toxiques dans leurs puisards et conduites de déchargement; elles peuvent aussi avoir été déchargées au moyen d'un gaz inerte, comme l'azote, si bien qu'un espace intérieur apparemment propre et sans danger ne l'est pas nécessairement. Les citernes qui ont contenu du brut, des résidus, des produits bitumineux ou à point de fusion élevé devront parfois être nettoyées à la vapeur ou par voie chimique avant que l'on puisse les ventiler et y accéder; elles pourront également présenter un risque pyrophorique. La ventilation, qui a pour but d'évacuer les vapeurs et les gaz toxiques ou inertes, peut se faire en ouvrant dans chaque compartiment le robinet ou le raccord le plus bas et le plus éloigné et en plaçant un éducteur d'air à l'orifice le plus haut. Si l'opérateur doit pénétrer dans la citerne sans protection respiratoire, il devrait s'assurer au préalable que tous les recoins et points bas, tels que les puisards, ont été soigneusement ventilés; la ventilation devrait se poursuivre pendant toute la durée de l'intervention.

#### **Le stockage en surface des hydrocarbures liquides**

Le pétrole brut, les gaz, les PL et le GNL, les additifs, les produits chimiques et les produits raffinés sont stockés dans des réservoirs sous pression atmosphérique (où le produit n'est pas sous pression) ou des réservoirs sous pression aériens ou enterrés. Ces réservoirs se trouvent à l'extrémité des conduites de collecte et d'alimentation, le long des conduites principales, sur les sites de chargement-déchargement maritimes et dans les raffineries, terminaux et dépôts de stockage en vrac. Il sera question ici des bacs de stockage atmosphériques installés en surface dans les raffineries, terminaux et dépôts (on trouvera ci-après des informations sur les réservoirs aériens sous pression; les réservoirs enterrés et les petits

réservoirs aériens sont traités dans l'article «Les opérations d'approvisionnement en carburant et de petit entretien des véhicules à moteur») du présent chapitre.

#### **Les terminaux et les installations de stockage en vrac**

Les terminaux sont des installations de stockage qui reçoivent généralement du brut et des produits dérivés amenés par pipelines principaux ou par navires et qui les stockent et les redistribuent aux raffineries, à d'autres terminaux, aux installations de stockage en vrac, aux stations-service et aux consommateurs au moyen de pipelines, de navires, de wagons-citernes et de camions-citernes. Les terminaux peuvent être exploités par des compagnies pétrolières, des exploitants de pipelines, des exploitants indépendants, de grandes entreprises industrielles ou commerciales ou des distributeurs de produits pétroliers.

Les installations de stockage en vrac sont généralement plus petites que les terminaux; elles sont le plus souvent approvisionnées par wagons-citernes ou camions-citernes depuis ces terminaux, mais parfois aussi directement par les raffineries. Elles stockent les produits et les redistribuent aux stations-service et aux consommateurs par wagons-citernes ou camions-citernes (camions-citernes d'une capacité comprise entre 1 900 à 9 500 litres). Elles peuvent être exploitées par des compagnies pétrolières, des distributeurs ou des propriétaires indépendants.

#### **Les parcs de stockage**

Les parcs de stockage sont des groupes de bacs situés sur les gisements exploités, dans les raffineries, les terminaux (maritimes, de pipelines et de distribution) et sur le site des installations de stockage en vrac où sont stockés le brut et les produits pétroliers. Dans ces parcs, les bacs individuels ou groupes de bacs sont en général entourés d'ouvrages de protection, appelés bermes, digues ou merlons, de construction et de hauteur variables, depuis les bermes en terre de 45 cm élevées autour des conduites et des pompes jusqu'aux murs en béton montant plus haut que les réservoirs qu'ils entourent. Les digues peuvent être en terre, argile ou autres matériaux; on les recouvre de gravier, de chaux ou de coquillages pour limiter l'érosion; leur hauteur est variable et leur largeur suffisante pour que des véhicules puissent y circuler. Elles servent essentiellement à canaliser et détourner les eaux de pluie, à séparer physiquement les réservoirs pour éviter la propagation d'un incendie d'un secteur à l'autre et à contenir les déversements accidentels, fuites ou débordements d'un réservoir, d'une pompe ou d'une conduite.

Les réglementations et les normes d'entreprise peuvent imposer que les digues soient dimensionnées et entretenues de manière à pouvoir retenir une quantité donnée de produit. Par exemple, une digue pourrait devoir contenir au moins 110% de la capacité du plus gros réservoir du périmètre, en prenant en compte le volume occupé par les autres bacs et la quantité de produit restant dans le bac le plus gros une fois l'équilibre hydrostatique atteint. Il pourrait être également prescrit que les digues soient construites en argile imperméable ou recouvertes d'une doublure plastique pour empêcher la pollution du sol ou des nappes phréatiques.

#### **Les bacs de stockage**

Il y a, dans les parcs de stockage, divers types de réservoirs atmosphériques ou sous pression de surface, verticaux et horizontaux, qui contiennent du pétrole brut, des produits de base de raffinage, des stocks intermédiaires ou des produits raffinés. Leurs dimensions, forme, conception, configuration et fonctionnement dépendent de la qualité et du type du produit stocké, ainsi que des dispositions réglementaires ou des prescriptions de l'entreprise. Les réservoirs verticaux peuvent être munis d'un double fond pour éviter les fuites et d'une protection cathodique pour limiter la corrosion. Les réservoirs horizontaux peuvent comporter une

paroi double ou être placés dans des chambres creusées dans le sol pour contenir les fuites.

#### **Les réservoirs atmosphériques à toit conique**

Les réservoirs à toit conique sont des cuves à pression atmosphérique, cylindriques, couvertes, horizontales ou verticales, situées en surface. Ils sont équipés à l'extérieur d'escaliers ou d'échelles et de passerelles. La soudure entre le toit et la robe est à faible résistance. Ils sont dotés d'orifices de respiration, de drainage ou de trop-plein. Ils peuvent comporter des accessoires tels que tubes de jaugeage, conduites et chambres de mousse, systèmes de détection et de signalisation de trop-plein, systèmes de jaugeage automatique, etc.

Lorsque du brut volatil et des produits pétroliers liquides inflammables sont stockés dans un réservoir à toit conique, il y a un risque que l'espace de vapeurs se trouve dans sa plage d'inflammabilité. En effet, bien que l'espace entre la surface du produit et le toit soit normalement riche en vapeurs, une atmosphère inflammable peut être créée quand le produit est introduit dans un réservoir vide ou que de l'air pénètre dans le réservoir par les événements ou les soupapes de surpression ou de vide à l'occasion d'un soutirage du produit, ou de la «respiration» du réservoir lors des changements de température. Les réservoirs à toit conique peuvent être raccordés à des systèmes de récupération des vapeurs.

Les *réservoirs à conservation* sont un type particulier de réservoirs à toit conique dont les parties supérieure et inférieure sont séparées par une membrane souple destinée à contenir les vapeurs dégagées quand le produit chauffe et se dilate sous l'effet du soleil durant la journée, et qui permet leur retour au réservoir lors de leur recondensation nocturne. Les réservoirs à conservation sont en général utilisés pour le stockage d'essence aviation ou de produits similaires.

#### **Les réservoirs atmosphériques à toit flottant**

Les réservoirs à toit flottant sont des cuves à pression atmosphérique, cylindriques, verticales, ouvertes ou fermées à leur partie supérieure et équipées d'un toit flottant. L'objectif principal du toit flottant est de limiter l'espace de vapeurs entre la surface du produit et la partie inférieure du toit, de sorte que l'atmosphère dans cet espace soit toujours riche en vapeurs, ce qui exclut la possibilité de formation d'un mélange vapeurs-air dans la plage d'inflammabilité. Tous les réservoirs à toit flottant sont équipés à l'extérieur d'escaliers ou d'échelles et de passerelles, ainsi que d'escaliers ou d'échelles réglables permettant d'accéder au toit depuis la passerelle. Ils peuvent comporter des accessoires tels que shunts de continuité électrique entre le toit et la robe, tubes de jaugeage, conduites et chambres de mousse, systèmes de détection et de signalisation de trop-plein, systèmes de jaugeage automatique, etc. Le pourtour du toit flottant est équipé d'un joint d'étanchéité ou d'un soufflet pour empêcher que le produit ou les vapeurs ne s'échappent et s'accumulent sur l'extrados du toit flottant ou immédiatement au-dessus.

Les toits flottants comportent des béquilles qui peuvent être réglées en position haute ou basse selon le type d'opération. Elles sont normalement en position basse pour que la plus grande quantité possible de produit puisse être soutirée sans créer d'espace de vapeurs au-dessus du niveau. Lorsque les réservoirs sont mis hors service pour être inspectés, entretenus, réparés ou nettoyés, il faut régler les béquilles en position haute afin que les opérateurs puissent travailler sous le toit une fois le réservoir vide. Lors de la remise en service, les béquilles sont de nouveau rétractées après le remplissage du réservoir.

Parmi les réservoirs aériens à toit flottant, on distingue ceux qui ont un toit flottant externe de ceux qui ont un toit flottant interne, ou encore un toit flottant externe couvert.

Les *réservoirs à toits flottants externes découverts* sont aussi dits à toits ouverts. Ils sont généralement construits en acier et comportent des pontons ou d'autres moyens de flottaison. Ils sont équipés

d'avaloirs, d'un joint d'étanchéité ou d'un soufflet pour empêcher les dégagements de vapeurs et d'échelles réglables permettant d'atteindre le toit depuis le haut du réservoir, quelle que soit la position du toit. Ils peuvent être aussi dotés de joints secondaires pour limiter les pertes de vapeurs vers l'atmosphère, d'écrans de protection des joints contre les intempéries et de dispositifs de retenue de mousse destinés à maintenir la mousse injectée au niveau du joint en cas d'incendie ou de perte d'étanchéité de ce dernier. L'accès au toit flottant externe à des fins de jaugeage, de maintenance ou de toute autre activité peut être considéré comme une entrée en espace confiné, selon le niveau du toit par rapport au haut du réservoir, les produits contenus, les prescriptions en vigueur et la politique interne de l'entreprise.

Les *réservoirs à toit flottant interne* sont généralement des réservoirs à toit conique que l'on a convertis en installant à l'intérieur un couvercle flottant (pont, radeau, etc.). Ils sont construits en tôle, en aluminium, en plastique ou en mousse expansée avec un revêtement métallique et peuvent être du type ponton ou cuvette, caisson plein flottant, ou une combinaison des deux. Ils sont munis d'un joint périphérique empêchant les vapeurs de passer entre son extrados et le toit extérieur. Des soupapes de pression et de vide ou des événements sont en principe installés en haut du réservoir pour contrôler les vapeurs d'hydrocarbures pouvant s'accumuler au-dessus du flotteur interne. Ces réservoirs comportent des échelles permettant d'accéder du toit conique au toit flottant. Tout accès au toit flottant interne devrait être considéré comme une entrée dans un espace confiné.

Les *réservoirs à toit flottant externe couvert* sont essentiellement des réservoirs à toit flottant externe qui ont été équipés d'un dôme géodésique, d'une calotte de neige ou d'une autre couverture similaire semi-fixe mettant le toit flottant à l'abri du contact direct avec l'atmosphère. Les réservoirs à toit flottant externe couvert de construction nouvelle peuvent avoir un toit flottant conçu pour les réservoirs à toit flottant interne. L'accès aux toits flottants externes couverts à des fins de jaugeage, de maintenance ou de toute autre activité peut être considéré comme une entrée dans un espace confiné, selon le type de construction du dôme ou de la calotte, le niveau du toit par rapport au haut du réservoir, les produits contenus, les prescriptions en vigueur et la politique interne de l'entreprise.

### **La réception des produits livrés par pipelines ou par navires**

Du point de vue de la sécurité, de la qualité des produits et de la protection de l'environnement, il est essentiel d'empêcher les mélanges de produits et les trop-pleins en mettant en place des procédures opératoires et des méthodes de travail appropriées. Pour la sécurité d'exploitation, il faut déterminer avant la livraison quels réservoirs vont recevoir le produit, de façon que leur capacité nominale ne soit pas dépassée; il faut les jauger pour connaître la capacité disponible et régler les vannes pour que seule soit ouverte l'entrée du réservoir de destination. Les dispositifs de drainage installés dans les cuvettes de rétention devraient être fermés durant les réceptions pour parer à l'éventualité d'un trop-plein ou d'un déversement. On peut se prémunir contre les débordements par diverses méthodes, notamment l'usage de commandes manuelles, de détecteurs automatiques, de systèmes de signalisation et de coupure de débit, et d'un moyen de communication. Dans tous les cas, ces procédures devraient être comprises et acceptées par les personnels des pipelines, navires, terminaux et raffineries chargés des transferts.

Les prescriptions en vigueur et la politique interne de l'entreprise peuvent imposer l'emploi de détecteurs automatiques de niveau des réservoirs recevant des liquides inflammables ou d'autres produits provenant des conduites principales ou des navires. Lorsque de tels systèmes sont installés, des tests d'intégrité de l'électronique de commande devraient être effectués réguliè-

ment ou avant un transfert de produit; en cas de défaillance du système, les transferts devraient se faire par des moyens manuels. Une surveillance manuelle ou automatique de la réception sur place ou à distance est nécessaire pour garantir le bon déroulement des opérations. Une fois le transfert terminé, toutes les vannes devraient être remises en position de fonctionnement normal ou réglées pour la réception suivante. Les pompes, vannes, raccords, canalisations de purge et d'échantillonnage, collecteurs, drains et puisards devraient être inspectés et entretenus pour assurer leur bon état de marche et prévenir les déversements et les fuites de produits.

### **Le jaugeage et l'échantillonnage des réservoirs**

Les exploitants d'installations de stockage devraient définir, pour le jaugeage et l'échantillonnage du brut et des produits raffinés, des procédures et des méthodes de travail sûres tenant compte des risques potentiels associés à chaque produit stocké et à chaque type de réservoir. Bien que le jaugeage soit souvent réalisé au moyen de dispositifs mécaniques ou électroniques automatiques, un jaugeage manuel devrait être effectué à intervalles fixes pour tester la précision des systèmes automatiques.

Les opérations manuelles de jaugeage et d'échantillonnage exigent en général que l'opérateur grimpe sur le réservoir. Pour les réservoirs à toit flottant, il doit ensuite descendre sur le toit, sauf s'il y a des tubes de jaugeage et d'échantillonnage accessibles depuis la passerelle. Avec les réservoirs à toit conique, l'opérateur doit ouvrir une trappe dans le toit pour descendre la jauge. Les opérateurs qui doivent accéder à des toits flottants couverts ou descendre sur des toits flottants externes qui se trouvent au-dessous d'un certain niveau devraient connaître les prescriptions et les risques relatifs à l'entrée dans les espaces confinés. Ils pourraient être tenus d'utiliser des détecteurs d'oxygène, de gaz combustibles et de sulfure d'hydrogène et de disposer d'un équipement de protection individuelle adapté.

On peut profiter du jaugeage manuel pour mesurer la température du produit et prélever des échantillons. On peut aussi enregistrer la température automatiquement et prélever des échantillons au moyen de tubulures d'échantillonnage intégrées aux réservoirs. Les jaugeages et les échantillonnages manuels sont normalement interdits durant les réceptions de produits. Lorsqu'une réception est terminée, une période de relaxation de 30 minutes à 4 heures, suivant le produit et les normes internes, devrait être prévue pour permettre l'évacuation des charges électrostatiques avant de procéder à un échantillonnage ou un jaugeage manuel. Certains exploitants imposent qu'il y ait des communications ou un contact visuel avec d'autres personnes lorsqu'un opérateur descend sur un toit flottant. En cas d'orage, des limitations très strictes devraient être imposées à l'accès aux toits et passerelles des réservoirs.

### **Le dégazage et le nettoyage des réservoirs**

Les réservoirs de stockage sont mis hors service pour inspection, contrôle, entretien, réparation, modification ou nettoyage, lorsque c'est nécessaire ou à intervalles réguliers selon les prescriptions en vigueur, la politique interne de l'entreprise et les exigences du service. Bien que le dégazage, le nettoyage et l'entrée dans un réservoir soient des opérations potentiellement dangereuses, ce travail peut être effectué sans incident sous réserve que des procédures convenables aient été établies et que des méthodes de travail sûres soient observées. Faute de telles précautions, on risque de déplorer des dommages corporels ou matériels à la suite d'explosions, d'incendies, de manque d'oxygène, d'expositions toxiques ou de risques physiques.

### **Les précautions préliminaires**

Un certain nombre de précautions préliminaires sont nécessaires dès lors qu'il a été décidé qu'un réservoir devait être mis hors

service pour inspection, maintenance ou nettoyage. Ces précautions comprennent: des solutions de rechange pour le stockage et la fourniture du produit, l'examen de l'historique du réservoir afin de déterminer s'il a jamais contenu des produits plombés ou s'il a déjà été nettoyé et certifié sans plomb, la détermination de la quantité et du type des produits qui y ont été stockés et la quantité de résidus restante, l'inspection de l'extérieur du réservoir, de ses abords et des équipements qui seront utilisés pour sa vidange, pour évacuer les vapeurs et pour le nettoyer, l'assurance que le personnel est formé, qualifié et au courant des procédures d'autorisation et de sécurité en vigueur sur le site, l'attribution des responsabilités en fonction des prescriptions applicables pour l'accès aux espaces confinés, les autorisations de travail à chaud et d'exécuter des travaux en toute sécurité et, enfin, la tenue d'une réunion rassemblant les personnels du terminal et les personnels (ou le sous-traitant) chargés du nettoyage avant l'intervention.

### La maîtrise des sources d'inflammation

Une fois que la totalité du produit a été extraite du réservoir par les conduites fixes et avant toute ouverture des tubulures de drainage d'eau ou d'échantillonnage, toutes les sources d'inflammation devraient être éliminées de la zone avoisinante jusqu'à ce que le réservoir soit déclaré vide de vapeurs. Les camions-vidangeurs, compresseurs, pompes et autres équipements commandés par moteur devraient être placés en amont soit sur le chemin de roulement, soit à l'extérieur des digues de sécurité ou, s'ils sont placés à l'intérieur des digues, à 20 m au moins du réservoir ou de toute autre source de vapeurs inflammables. La préparation du réservoir, son dégazage et son nettoyage devraient être interrompus en cas d'orages électriques.

### L'élimination des résidus

L'étape suivante consiste à enlever autant de produit restant ou de résidus que possible via les tubulures de raccordement avec les pipelines et de drainage d'eau. La délivrance d'une autorisation d'exécuter des travaux en toute sécurité peut être nécessaire pour cette opération. On injecte parfois de l'eau ou du fioul distillé par les tubulures fixes pour évacuer le produit par flottage. Les résidus extraits de réservoirs ayant contenu du brut sulfuré devraient être maintenus humides jusqu'à leur mise en décharge afin d'éviter une combustion spontanée.

### L'isolement du réservoir

Une fois que la totalité du produit a été vidée par les tubulures fixes, toutes les conduites connectées au réservoir (conduites de produit, de récupération des vapeurs, de mousse, d'échantillonnage, etc.) devraient être déconnectées en fermant les vannes les plus proches du réservoir et en insérant des brides pleines dans les conduites, du côté réservoir de la vanne, pour empêcher tout retour de vapeurs dans le réservoir. La portion de conduite comprise entre la bride pleine et le réservoir devrait être vidangée et rincée. Les vannes situées à l'extérieur de la cuvette de rétention devraient être fermées et immobilisées mécaniquement ou étiquetées. Les équipements internes du réservoir tels que pompes, mélangeurs, protection cathodique, systèmes électroniques de jaugage et de détection de niveau, etc. devraient être déconnectés, mis hors tension et verrouillés ou marqués.

### La ventilation-dégazage

Le réservoir est maintenant prêt à être débarrassé de ses vapeurs. Des contrôles de vapeurs, intermittents ou continus, devraient être effectués et le travail dans la zone gazée être interdit durant la ventilation du réservoir. La ventilation naturelle, en mettant le réservoir en contact avec l'atmosphère, n'est pas la méthode généralement préférée, étant donné qu'elle n'est ni aussi rapide ni aussi sûre que la ventilation forcée. Il existe plusieurs méthodes de

ventilation mécanique selon la dimension, la construction, l'état et la configuration interne des réservoirs. Dans l'une d'elle, on peut dégazer les réservoirs à toit conique en plaçant un éducteur (un ventilateur d'extraction portatif) sur la trappe située à son sommet; on le met en route lentement tandis qu'une autre trappe en bas du réservoir est ouverte, puis on augmente la vitesse pour extraire l'air et les vapeurs à travers le réservoir.

Les opérations de dégazage devraient faire l'objet d'une autorisation d'exécuter des travaux en toute sécurité ou d'une autorisation de travail à chaud. Tous les ventilateurs et les éducteurs devraient être reliés à la masse du réservoir par une liaison de bonne qualité pour éviter les arcs électrostatiques. Pour des raisons de sécurité, les ventilateurs et les éducteurs fonctionneront de préférence à l'air comprimé, mais on a parfois recours à des moteurs électriques antidéflagrants ou à des moteurs à vapeur. Pour les réservoirs à toit flottant interne, il pourra être nécessaire de ventiler séparément les parties situées au-dessus et au-dessous du toit flottant. Si les vapeurs sont évacuées par une trappe inférieure, il faudra utiliser un tube vertical placé à au moins 4 m au-dessus du sol et d'une hauteur au moins égale à la digue environnante pour éviter que les vapeurs ne s'accumulent aux points bas ou n'atteignent une source d'inflammation avant d'être dissipées. Si nécessaire, ces vapeurs pourront être envoyées dans le système de récupération du site.

A mesure que le dégazage progresse, les résidus peuvent être lavés et évacués par la trappe inférieure ouverte, au moyen de flexibles d'eau et d'une aspiration qui devraient être liés à la masse du réservoir de façon à éviter les arcs électrostatiques. Les réservoirs qui ont contenu du brut acide ou des produits résiduels à haute teneur en soufre peuvent provoquer un autoéchauffement et s'enflammer lorsqu'ils sèchent durant le dégazage. Si l'on veut éviter ce phénomène, il convient de mouiller les parois intérieures du réservoir avec de l'eau pour que les dépôts n'entrent pas au contact de l'air et ne s'échauffent pas. Tout résidu de sulfure de fer devrait être évacué par la trappe ouverte afin d'éviter l'inflammation des vapeurs durant le dégazage. Les opérateurs procédant au lavage, à l'enlèvement des résidus et au mouillage des parois devraient porter une protection individuelle adaptée.

### Le premier accès à l'intérieur du réservoir, l'inspection et la certification

Un moyen de savoir si le bac est suffisamment dégazé est de mesurer les vapeurs au point d'évacuation durant la ventilation. Une fois qu'il apparaît que la concentration des vapeurs inflammables est inférieure au seuil fixé par les prescriptions en vigueur et par la politique interne de l'entreprise, l'opérateur peut pénétrer dans le réservoir à des fins d'inspection et de contrôle, équipé de la protection individuelle nécessaire et d'un appareil respiratoire à adduction d'air. Après avoir procédé à des prélèvements d'ambiance au niveau de la trappe, une autorisation d'accès intérieur est délivrée. L'opérateur peut alors pénétrer dans le réservoir pour poursuivre les contrôles et l'inspection. Il vérifiera notamment la présence d'obstacles, la solidité du toit et des supports, l'existence de trous dans le fond du réservoir, etc.

### Le nettoyage, l'entretien et la réparation

A mesure que le dégazage se poursuit et que la concentration des vapeurs baisse, de nouvelles autorisations d'accès peuvent être délivrées pour d'autres opérateurs (avec protection individuelle adaptée) qui procéderont au nettoyage. Le mesurage des concentrations en oxygène, en vapeurs inflammables et en substances toxiques ne devrait pas être interrompu; si les résultats indiquent que ces concentrations ont dépassé les seuils autorisés, l'autorisation d'accès devrait automatiquement expirer. Les opérateurs présents dans le réservoir devraient alors immédiatement en sortir, attendre que les concentrations reviennent à des valeurs sûres et

que des autorisations d'accès soient à nouveau délivrées. La ventilation devrait se poursuivre durant les opérations de nettoyage tant qu'il reste des résidus ou des boues dans le réservoir. Seuls des appareils d'éclairage faible tension ou des lampes-torches d'un type agréé devraient être utilisés pendant l'inspection et le nettoyage.

Une fois le réservoir nettoyé et séché, on procède à une dernière inspection et à une ultime série de mesures avant de commencer les travaux d'entretien, de réparation ou de transformation. Il faut inspecter minutieusement les collecteurs de boues, puisards, plateaux de plancher, pontons de toit flottant, supports et poteaux pour s'assurer qu'il n'y a pas de trous ou d'interstices par lesquels le produit stocké aurait pu fuir ou s'infiltrer sous le plancher. Les espaces entre les barrières de retenue de mousse et les écrans de protection des joints contre les intempéries ou autres joints secondaires devraient également faire l'objet d'un contrôle de présence de vapeurs. Si le réservoir a contenu de l'essence plombée, ou si l'on ne dispose pas de son historique, une recherche de plomb dans l'air devrait être effectuée et le réservoir être certifié exempt de plomb avant que des opérateurs ne soient admis à l'intérieur sans équipement respiratoire à adduction d'air.

Une autorisation de travail à chaud est indispensable pour le soudage, le coupage et autres travaux à chaud, et une autorisation d'exécuter des travaux en toute sécurité devrait être délivrée pour les autres activités de réparation et d'entretien. Le soudage et autres travaux à chaud peuvent donner lieu à des vapeurs toxiques et nécessiter des prélèvements d'ambiance, une protection respiratoire et une ventilation continue. Si le réservoir doit être modifié, par exemple pour être équipé d'un double fond ou d'un toit flottant interne, on découpe généralement un grand trou sur le côté pour faciliter le passage et s'affranchir de la nécessité de délivrer des autorisations d'accès en espace confiné.

Il est courant de faire suivre le nettoyage du réservoir par une réfection en état de ses surfaces extérieures par décapage au jet et peinture, avant la remise en service. Ces activités, de même que le nettoyage et la mise en peinture des tuyauteries du parc de stockage, peuvent être menés alors que les bacs et conduites sont en service — sous réserve de l'observation des prescriptions de sécurité en vigueur, telles que mesure des vapeurs d'hydrocarbures et interruption du traitement des surfaces durant les transferts de liquides inflammables dans des réservoirs voisins. Le sablage présente le risque d'une exposition dangereuse à la silice; très souvent, l'administration et les entreprises imposent l'emploi d'abrasifs spéciaux non toxiques (grenaille, etc.) qui peuvent être collectés, épurés et recyclés. Des procédés spéciaux de collecte des particules sous vide peuvent être utilisés pour éviter la contamination lors des décapages de peintures au plomb sur les bacs et tuyauteries. Une fois les surfaces mises à nu par traitement mécanique, les points suspects (fuites, suintements) des parois et tuyauteries devraient être vérifiés et réparés avant l'étape de peinture.

#### La remise en service du réservoir

Dès que l'intervention est terminée, les trappes sont refermées, les brides pleines retirées et les tuyauteries rebranchées sur le réservoir. Les robinets sont déverrouillés, ouverts et réglés, et les dispositifs mécaniques et électriques remis en fonction. Les prescriptions en vigueur et la politique interne de l'entreprise imposent souvent que les réservoirs fassent l'objet d'un essai hydrostatique avant la remise en service, pour s'assurer de l'absence de fuites. Comme une quantité d'eau considérable serait nécessaire pour obtenir la hauteur manométrique voulue pour la validité de l'essai, une procédure fréquente consiste à remplir de gazole la partie inférieure du réservoir et à faire le complément avec de l'eau. Après cet essai, le réservoir est vidé et préparé pour recevoir un produit. Sur les réservoirs à toit flottant, après remplissage et après un temps de relaxation suffisant, les bécilles du toit sont replacées en position rétractée.

#### La prévention des incendies

La présence d'hydrocarbures dans une enceinte fermée, comme c'est le cas des réservoirs de stockage des raffineries, des terminaux et des dépôts de stockage, comporte toujours le risque d'un rejet de liquide ou de vapeurs. Des vapeurs peuvent se mélanger à l'air dans la plage d'inflammabilité et, si une source d'inflammation est présente, provoquer une explosion ou un incendie. Indépendamment de la fiabilité des systèmes de protection contre l'incendie et des personnels du site, la clé de la protection incendie réside dans la prévention. Il faut empêcher les produits déversés ou dégagés d'atteindre les réseaux d'égout et de drainage. Pour que les produits répandus ne dégagent pas de vapeurs qui se mélangent à l'air, on peut placer des couvertures humides sur les petites flaques et répandre de la mousse sur les nappes plus importantes. Il faut veiller à éliminer ou à éloigner toute source d'inflammation dans les zones où des vapeurs d'hydrocarbures peuvent être présentes. Des extincteurs portatifs devraient être prévus sur les véhicules de service, de même que sur tous les points stratégiques du site, pour autant qu'ils soient accessibles.

L'établissement et l'application de mesures et de méthodes de sécurité au travail — telles que les systèmes d'autorisation de travail à chaud et les autorisations d'exécuter des travaux en toute sécurité pour les travaux à froid, la classification électrique des matériels, les consignes de consignation/déconsignation des appareils, ainsi que les programmes de formation et de sensibilisation des travailleurs et des sous-traitants — sont essentielles pour la prévention. Les exploitants de sites de stockage élaboreront des procédures d'urgence et les opérateurs devraient savoir qui alerter et comment agir en cas d'incendie et d'évacuation. Les numéros de téléphone des personnes responsables et des administrations à avertir en cas d'urgence devraient être affichés sur le site et les moyens de communication nécessaires être prévus. Il conviendrait en outre que les brigades locales de sapeurs-pompiers, les organisations de sécurité et d'aide mutuelle soient également informées de ces procédures et connaissent le site et ses risques.

Diverses méthodes sont utilisées, parfois concurremment, pour lutter contre les feux d'hydrocarbures:

- *L'élimination du produit combustible.* L'un des moyens les plus efficaces et les plus simples de maîtriser et d'éteindre un feu d'hydrocarbures consiste à isoler la source du produit combustible en fermant la vanne d'arrivée, en déroutant l'écoulement du produit, ou encore, dans le cas d'une petite quantité, en laissant simplement le produit brûler tout en contrôlant les expositions. On peut également recouvrir les flaques d'hydrocarbures de mousse pour empêcher le dégagement de vapeurs susceptibles de se mélanger à l'air.
- *L'élimination de l'oxygène.* Une autre méthode consiste à supprimer l'apport d'air ou d'oxygène en étouffant les feux avec de la mousse ou de l'eau pulvérisée, ou en utilisant du dioxyde de carbone ou de l'azote pour chasser l'air des espaces confinés.
- *Le refroidissement.* L'eau en brouillard, la pulvérisation ou l'aspersion, ainsi que le dioxyde de carbone peuvent être utilisés pour éteindre certains feux d'hydrocarbures, en ramenant la température au-dessous du point d'inflammation du produit et en empêchant les vapeurs de se former et de se mélanger à l'air.
- *L'interruption de la combustion.* Certains produits chimiques comme la poudre sèche ou le halon éteignent les feux en interrompant la réaction chimique de la combustion.

#### La protection des réservoirs de stockage contre le feu

La protection des réservoirs de stockage contre le feu est une discipline spécialisée qui doit prendre en compte plusieurs facteurs interdépendants: le type, l'état et la dimension des réservoirs; la nature et la quantité du produit stocké; l'espacement entre les réservoirs, l'endiguement et le drainage; les moyens de protection

du site contre le feu et les moyens d'intervention; l'assistance extérieure; enfin, la politique de la société, les normes de la profession et les prescriptions en vigueur. Les incendies de réservoirs de stockage peuvent être faciles ou très difficiles à maîtriser, en fonction essentiellement de la rapidité de détection et d'attaque du feu. Les exploitants de sites de stockage devraient se référer aux nombreuses pratiques et normes mises en place et recommandées par des organismes comme l'Institut américain du pétrole (American Petroleum Institute (API)) et l'Association nationale de protection contre l'incendie (National Fire Protection Association (NFPA)), aux Etats-Unis, qui couvrent de façon très détaillée la prévention des incendies des réservoirs de stockage et la lutte contre le feu.

Des vapeurs peuvent s'échapper d'un réservoir et former avec l'air un mélange inflammable aux points où il y a un défaut d'étanchéité (déformation d'arrondi sur un réservoir à toit flottant découvert, ou joint d'étanchéité usé ou ne s'appliquant pas hermétiquement contre la robe du réservoir). Dans ce cas, la foudre peut provoquer des incendies à la ligne de joint avec la robe. Les petits feux détectés dès leur naissance peuvent souvent être éteints par des extincteurs à poudre portatifs ou par de la mousse appliquée à l'aide d'une lance ou d'un extincteur à mousse.

Si le feu au niveau du joint ne peut être maîtrisé de cette façon ou s'il a pris de grandes proportions, de la mousse peut être appliquée sur le toit par des systèmes fixes ou semi-fixes, ou grâce à de gros canons de mousse. Toutefois, des précautions sont nécessaires lorsqu'on applique de la mousse sur un toit flottant; en effet, en cas de surcharge du toit, celui-ci peut s'incliner ou couler et une importante surface de produit se trouve exposée et participe à l'incendie. Des dispositifs de retenue de mousse sont prévus sur les réservoirs à toit flottant pour piéger la mousse dans la zone comprise entre le joint et la robe du bac. Lorsque la mousse se tasse, elle relargue de l'eau sous les retenues à mousse et cette eau doit être évacuée par le système de drainage du toit pour éviter la surcharge et l'affaissement du toit.

Selon les prescriptions en vigueur et la politique interne de l'entreprise, les réservoirs peuvent être équipés de systèmes à mousse fixes ou semi-fixes comprenant les conduites d'amenée aux réservoirs, les colonnes montantes et les chambres à mousse montées sur les réservoirs, les tubulures et les ajutages d'injection sous surface dans le fond du réservoir, et les tuyauteries de distribution et de retenue à mousse en partie haute. Avec les systèmes fixes, des solutions eau-mousse sont élaborées dans des centrales à mousse et pompées jusqu'aux réservoirs par un réseau de canalisations. Les systèmes semi-fixes comprennent en général des cuves, des générateurs et des pompes à mousse mobiles qui peuvent être amenés au pied du réservoir, branchés sur une borne d'eau et connectés aux canalisations de mousse du réservoir. Les solutions eau-mousse peuvent également être élaborées dans une centrale et distribuées sur l'ensemble du site par un réseau de canalisations et de prises incendie. En cas d'incendie, le système semi-fixe du réservoir est branché par un flexible sur la prise la plus proche.

Lorsque les réservoirs ne sont pas équipés de systèmes fixes ou semi-fixes, la mousse peut être envoyée en haut des réservoirs par des monitors, des lances flexibles ou des ajutages. La méthode d'application reste cependant secondaire: pour maîtriser un feu qui a entièrement pris sur un réservoir, il est avant tout important d'appliquer une quantité donnée de mousse au moyen de techniques spéciales, à une concentration et à un débit donnés, pendant un temps minimal qui est essentiellement fonction de la dimension du réservoir, du produit qu'il contient et de l'étendue du feu. S'il n'y a pas suffisamment de concentré de mousse disponible pour répondre aux critères d'application, il est peu probable que l'incendie puisse être maîtrisé ou éteint.

Seuls des sapeurs-pompier formés et compétents devraient être autorisés à utiliser de l'eau contre les feux d'hydrocarbures liqui-

des. Des éruptions instantanées ou des débordements peuvent en effet se produire quand de l'eau, envoyée directement sur les feux de réservoirs contenant du brut ou des sous-produits lourds, se transforme en vapeur. Comme l'eau est plus dense que la plupart des hydrocarbures, elle se dépose au fond du réservoir et, si elle est envoyée en trop grande quantité, elle le remplit et repousse le produit en feu vers le haut en le faisant déborder.

L'eau est utilisée en particulier pour éteindre les feux de flammes à l'extérieur des réservoirs, de manière que les vannes permettant de maîtriser l'écoulement du produit puissent être manœuvrées pour refroidir les parois des réservoirs en question, afin d'éviter les explosions dites BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion) ou explosions dues à l'expansion des vapeurs d'un liquide en ébullition (voir plus loin «Les risques d'incendie liés aux gaz d'hydrocarbures liquéfiés»), et pour réduire l'effet du choc de la chaleur et des flammes sur les réservoirs et équipements voisins. En raison de la nécessité de disposer à la fois de moyens humains et matériels spécialisés, de nombreux terminaux et installations de stockage, au lieu d'autoriser les opérateurs à tenter de combattre les incendies, ont adopté la pratique consistant à dépoter autant de produit que possible hors du réservoir concerné, à protéger les structures adjacentes de la chaleur et des flammes et à laisser ce qui reste de produit brûler dans le réservoir, sous conditions contrôlées, jusqu'à épuisement du feu.

#### ***La sécurité et la santé au travail dans les terminaux et les installations de stockage en vrac***

Le bon état des fondations, des supports et des conduites des bacs de stockage devrait être régulièrement contrôlé (corrosion, érosion, affaissement, autres dommages visibles) afin d'éviter toute perte ou dégradation des produits. Les soupapes de pression et de vide, les joints, les écrans de protection, les événements, les chambres à mousse, les purges d'eau de toit, les robinets de drainage d'eau et les dispositifs détecteurs de trop-plein devraient être inspectés, testés et entretenus à intervalles réguliers, en procédant notamment à l'élimination de la glace en hiver. Lorsque des pare-flammes sont installés sur les événements des réservoirs ou dans les conduites de récupération des vapeurs, il faudrait prendre soin de les inspecter, de les nettoyer régulièrement et de les dégivrer en hiver pour qu'ils fonctionnent bien. L'état opérationnel des vannes montées sur les sorties du réservoir et qui se ferment automatiquement en cas d'incendie ou de chute de pression devrait être vérifié.

La pente des cuvettes de rétention devrait éloigner des réservoirs, pompes et conduites les produits déversés accidentellement et les acheminer vers une zone sûre. Les murs des digues devraient être maintenus en bon état, avec les vannes de drainage gardées fermées sauf pour évacuer l'eau, et les cuvettes de rétention être recreusées si nécessaire pour conserver leur capacité nominale. Il conviendrait aussi que les escaliers, rampes d'accès, échelles, passerelles et garde-corps des rampes de chargement, digues et réservoirs soient également maintenus en bon état et exempts de givre, de neige et de corps gras. Toute fuite constatée sur les réservoirs et les conduites devrait être réparée sans délai. L'emploi de joints Victaulic ou similaires sur les conduites courant à l'intérieur des cuvettes de rétention qui pourraient être exposés à la chaleur est déconseillé, car ils risquent de s'ouvrir lors d'un incendie.

Des procédures et méthodes de travail sûres devraient être définies et appliquées, et il faudrait assurer une formation théorique et pratique aux personnels d'exploitation et d'entretien des terminaux, dépôts et installations de stockage en vrac, ainsi qu'aux chauffeurs de camions et au personnel des entreprises sous-traitantes pour qu'ils connaissent et observent les règles de sécurité. Celles-ci devraient inclure au minimum une information de base sur les feux d'hydrocarbures (causes, maîtrise, extinction); les ris-

ques d'exposition aux substances toxiques telles que le sulfure d'hydrogène, les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) dans le brut et les carburants résiduels, le benzène dans l'essence et les additifs comme le tétraéthylplomb et le méthyl-*tert*-butyléthér (MTBE); les interventions d'urgence; et, enfin, les risques physiques et climatiques liés aux activités considérées.

L'amiante et d'autres matériaux isolants peuvent entrer dans la protection des réservoirs et des conduites. Il faudrait par conséquent prendre et appliquer des mesures appropriées de sécurité et de protection individuelle pour la manipulation, l'enlèvement et la mise en décharge de ces matériaux.

### La protection de l'environnement

Les exploitants et les travailleurs des terminaux devraient connaître et respecter les règlements officiels et les normes applicables à la protection des nappes phréatiques, des eaux de surface, du sol et de l'atmosphère contre la pollution par les liquides et les vapeurs d'hydrocarbures, ainsi qu'à la manutention et à la mise en décharge des déchets dangereux.

- **La contamination des eaux.** Les terminaux sont souvent équipés de séparateurs huiles-eau pour traiter les eaux polluées venant des zones de rétention des réservoirs, les ruissellements des rampes de chargement et des aires de garage, les eaux de vidange des réservoirs et les eaux drainées des toits flottants découverts. Les exploitants des terminaux peuvent être tenus de se conformer à des normes de qualité de l'eau et de demander des autorisations pour le rejet de leurs eaux.
- **La pollution atmosphérique.** La prévention de la pollution atmosphérique comprend la limitation des rejets de vapeurs par les soupapes et les événements. Les unités de récupération des vapeurs sont prévues pour collecter les vapeurs sur les rampes de chargement et les installations portuaires, même si les citernes ont été aérées au préalable. Ces vapeurs sont soit traitées et renvoyées en stockage comme liquides, soit brûlées.
- **Les déversements accidentels sur terre et sur l'eau.** Les prescriptions en vigueur peuvent exiger que les installations de stockage d'hydrocarbures possèdent des plans de lutte contre les déversements accidentels et que le personnel soit formé et connaisse les risques potentiels, la chaîne d'alerte et les mesures à prendre en cas de déversement ou de rejet. Outre le traitement des rejets dans les emprises du terminal, le personnel est souvent formé et équipé pour répondre à des urgences hors site, comme le renversement d'un camion-citerne.
- **Les eaux usées et les déchets dangereux.** Les exploitants des terminaux peuvent être tenus de satisfaire à des obligations réglementaires et de demander des autorisations pour le rejet des eaux usées et des déchets huileux vers des installations de traitement publiques ou privées. Diverses réglementations officielles et procédures d'entreprise peuvent s'appliquer au stockage et à la manipulation sur site des déchets dangereux comme l'amiante, les résidus de nettoyage des réservoirs et les produits pollués. Les opérateurs devraient être formés à ces activités et être informés des risques liés aux expositions potentielles.

### Le stockage et la manutention des gaz d'hydrocarbures liquéfiés

#### Les réservoirs de stockage en vrac

Les gaz d'hydrocarbures liquéfiés (GHL) sont stockés dans de gros réservoirs de vrac aux points de traitement (gisements de gaz et de pétrole, raffineries) et aux points de distribution aux consommateurs (terminaux et dépôts). Les deux méthodes les plus couramment employées pour le stockage en vrac des GHL sont:

- **Le stockage sous haute pression et à température ambiante.** Les GHL sont stockés dans des réservoirs sous pression en acier, sous 1,6

à 1,8 MPa, ou dans des réservoirs enterrés aménagés dans des formations de sel ou de roches imperméables.

- **Le stockage sous pression proche de la pression atmosphérique et à basse température.** Les GHL sont stockés dans des réservoirs en acier à parois minces calorifugés, dans des réservoirs en béton armé aériens ou enterrés, ou dans des réservoirs cryogéniques enterrés. La pression dans ces réservoirs est maintenue proche de la pression atmosphérique (0,05 à 0,07 MPa), à une température de  $-160\text{ }^{\circ}\text{C}$  pour le gaz naturel liquéfié (GNL) stocké dans des réservoirs cryogéniques enterrés.

Les réservoirs de stockage en vrac pour les gaz de pétrole liquéfiés (GPL) sont des réservoirs horizontaux cylindriques (40 à  $200\text{ m}^3$ ) ou sphériques (jusqu'à  $8\ 000\text{ m}^3$ ). Le stockage réfrigéré est la méthode normale pour les réservoirs de plus de  $2\ 400\text{ m}^3$ . La conception et la construction de ces deux types de réservoirs, qu'ils soient fabriqués en atelier, puis transportés sur le site, comme les premiers, ou construits sur place, comme les seconds, sont soumises à des spécifications rigoureuses.

La pression nominale des réservoirs de stockage ne devrait pas être inférieure à la pression de vapeur des GHL qui y seront contenus à la température de service maximale. Les réservoirs de mélanges propane-butane devraient être conçus pour une pression du propane de 100%. Il faudrait aussi prendre en compte les surpressions résultant de la pression hydrostatique du produit au remplissage maximal et la pression partielle des gaz non condensables dans l'espace de vapeurs. Dans l'idéal, les cuves de stockage des GHL devraient être conçues pour le vide total; dans le cas contraire, il faut prévoir des soupapes de dépression. Les caractéristiques de conception devraient également comprendre des dispositifs de décompression, des jauges de niveau de liquide, des capteurs de température et de pression, des vannes d'isolement internes, des clapets antirefoulement et des vannes de limitation de débit. Il peut aussi y avoir des vannes d'arrêt d'urgence à sûreté intégrée et des sorties de signaux haut niveau pour relayages, etc.

Les réservoirs horizontaux peuvent être installés en surface, surélevés sur butte ou enterrés, en général sous le vent par rapport à toute source d'inflammation existante ou potentielle. Dans le cas d'un réservoir horizontal, en cas de rupture d'un fond, le réservoir sera projeté dans le sens opposé. Il est donc prudent de monter les réservoirs de surface cylindriques parallèlement à toute structure importante en évitant d'orienter leur axe longitudinal vers celle-ci. Les autres facteurs comprennent l'espacement entre les réservoirs, leur emplacement et la prévention des incendies. Les règlements spécifient les distances horizontales minimales à respecter entre les cuves de stockage des GHL et les constructions, réservoirs ou structures avoisinants, ainsi que par rapport aux sources d'inflammation potentielles telles que torches, appareils de chauffage, lignes électriques, transformateurs, installations de chargement-déchargement, moteurs à combustion interne, turbines à gaz et processus industriels.

Le confinement et le drainage des déversements sont des facteurs importants dans la conception et l'exploitation des sites de stockage des GHL. Il faut en effet que les produits répandus soient dirigés vers un point où ils ne feront courir que peu de risques aux installations et zones voisines. Des systèmes de rétention et des digues peuvent être construits là où les déversements présentent un risque potentiel pour d'autres installations ou pour la population. Les réservoirs de stockage ne sont généralement pas entourés de digues, mais le sol est incliné de manière que les vapeurs et les liquides ne s'accumulent ni sous eux ni autour d'eux et que, en cas de flaque en feu, les flammes n'entrent pas en contact avec le réservoir.

#### Les bouteilles de gaz

Les GHL livrés aux consommateurs, sous forme de GPL ou de GNL, sont stockés en bouteilles à des températures supérieures à

leur point d'ébullition à température et pression normales. Toutes les bouteilles de GPL et de GNL portent une collerette de protection, une soupape de sûreté et un chapeau de valve. Les principaux types de bouteilles sont :

- les bouteilles à sortie du gaz en phase gazeuse (0,5 à 50 kg) utilisées par les consommateurs, les plus grandes étant généralement rechargeables après reprise par le fournisseur;
- les bouteilles à sortie du gaz en phase liquide pour remplissage des petites bouteilles rechargeables livrées à la consommation courante;
- les bouteilles embarquées sur véhicule, notamment les bouteilles de 40 kg fixées à demeure comme réservoir de carburant sur les véhicules routiers, remplies et utilisées en position horizontale, ainsi que les bouteilles pour chariots industriels qui sont conçues pour être stockées, remplies et manipulées debout, mais sont installées à l'horizontale sur le véhicule.

### Les propriétés des gaz d'hydrocarbures

Selon la NFPA, les gaz inflammables (combustibles) sont ceux qui brûlent aux concentrations normales d'oxygène dans l'air. Leur combustion est analogue à celle des vapeurs inflammables d'hydrocarbures liquides, car il faut une température d'inflammation déterminée pour amorcer la réaction de combustion et chaque gaz ne peut brûler que dans une certaine fourchette du mélange air-gaz. Les liquides inflammables ont un point d'éclair qui est la température (toujours inférieure au point d'ébullition) à laquelle ils émettent suffisamment de vapeurs pour la combustion. Il n'y a pas de point d'éclair apparent pour les gaz inflammables, étant donné qu'ils sont normalement à des températures supérieures à leur point d'ébullition, même lorsqu'ils sont liquéfiés, et se trouvent donc toujours à des températures nettement supérieures à leur point d'éclair.

La NFPA (1976) définit les gaz comprimés et les gaz liquéfiés comme suit :

- «Les gaz comprimés sont ceux qui, à toutes les températures atmosphériques normales régnant à l'intérieur de leurs récipients, existent uniquement à l'état gazeux sous pression».
- «Les gaz liquéfiés sont ceux qui, aux températures atmosphériques normales régnant à l'intérieur de leurs récipients, existent partiellement à l'état liquide et partiellement à l'état gazeux, et sont sous pression tant qu'il reste du liquide dans le récipient».

Le principal facteur qui détermine la pression à l'intérieur du récipient est la température du liquide. Exposé à l'atmosphère, un gaz liquéfié se vaporise très rapidement en restant au niveau du sol ou des nappes d'eau, à moins d'être dispersé par le vent ou par une agitation mécanique de l'air. Aux températures atmosphériques normales, environ un tiers du liquide contenu se vaporise.

Les gaz inflammables sont en outre classés comme gaz combustibles ou gaz industriels. Les gaz combustibles, notamment le gaz naturel (méthane) et les GPL (propane et butane), sont brûlés en présence d'air pour la chauffe des fours, chaudières, etc. Les gaz industriels, comme l'acétylène, sont utilisés dans les processus industriels, le soudage, l'oxycoupage et les traitements thermiques.

Les différences entre les propriétés de combustion du GNL et des GPL sont indiquées au tableau 102.11.

### Les risques présentés par les gaz de pétrole liquéfiés et le gaz naturel liquéfié

Tous les GHL présentent les risques habituels liés à l'inflammabilité, à la réactivité chimique, à la température et à la pression. Le plus grave d'entre eux est la libération accidentelle hors du récipient (bouteille ou réservoir) et le contact avec une source d'inflammation. Un échappement de gaz peut se produire par suite d'une rupture du récipient ou d'un robinet (du fait d'un surremplissage ou pour d'autres raisons) ou à la suite d'une décharge des surpressions produites par la dilatation du gaz sous l'effet de la chaleur.

Les GPL en phase liquide ont un coefficient de dilatation élevé, le propane liquide se dilatant seize fois plus et le butane liquide onze fois plus que l'eau pour la même hausse de température. Il faut tenir compte de cette propriété pour le remplissage des bouteilles, de manière à laisser un espace libre pour la phase vapeur. La quantité correcte est déterminée par un certain nombre de variables, dont la nature du gaz liquéfié, la température au moment du remplissage, les températures ambiantes prévues, la taille, le type (calorifugé ou non) et l'emplacement du récipient (aérien ou enterré). Des règlements définissent les quantités admissibles, dites «densités de remplissage», qui sont propres à chaque gaz ou famille de gaz. Elles peuvent être exprimées soit en poids, et l'on a alors une valeur absolue, soit en volume de liquide, auquel cas il faut apporter une correction pour tenir compte de la température.

La quantité maximale de remplissage de liquide dans les récipients de GPL sous pression est de 85% à 40 °C (moins à des températures plus élevées). Pour le GNL, du fait qu'il est stocké à basse température, les récipients peuvent être remplis de liquide à 90-95%. Tous les récipients sont équipés de soupapes de sûreté normalement tarées à des pressions correspondant à des températures du liquide supérieures à la pression normale. Comme ces soupapes ne peuvent pas abaisser la pression interne à la pression atmosphérique, le liquide conserve toujours une température supérieure à son point d'ébullition normal. A l'état pur, les gaz d'hydrocarbures comprimés et liquéfiés ne sont pas corrosifs pour les aciers et la plupart des alliages de cuivre. La corrosion est cependant à redouter s'ils renferment des composés de soufre ou des impuretés.

Les GPL sont une fois et demie à deux fois plus lourds que l'air lorsqu'ils sont libérés; dans l'atmosphère, ils se répandent rapidement à la surface du sol ou des eaux en stagnant aux points bas. Cependant, dès lors que les vapeurs sont diluées par l'air et forment un mélange inflammable, leur densité est pratiquement la même que celle de l'air et leur dispersion est différente. Le vent réduit sensiblement la distance de dispersion, et cela quelle que soit l'importance de la fuite. Les vapeurs de GNL réagissent différemment. Comme le gaz naturel a une faible densité de vapeur (0,6), il se mélange et se disperse rapidement dans des espaces ouverts, réduisant le risque de formation d'un mélange inflammable avec l'air. Dans les espaces clos, le gaz naturel s'accumule et forme des nuages de vapeurs inflammables.

Tableau 102.11 • Propriétés de combustion des GHL (valeurs indicatives)

Type de gaz	Plage d'inflammabilité (% de gaz dans l'air)	Pression de vapeur à 21 °C (bar)	Température normale d'ébullition initiale (°C)	Masse volumique (kg/l)	Pouvoir calorifique (MJ/m <sup>3</sup> )	Densité (air = 1)
GNL	4,5-14	0,10	- 162	0,42-0,48	39,1	9,2-10
GPL (propane)	2,1-9,6	9,10	- 46	0,51	93,1	1,52
GPL (butane)	1,9-8,5	1,17	- 9	0,58	119,2	2,0

Bien que les GHL soient incolores lorsqu'ils sont libérés dans l'air, leurs vapeurs sont observables du fait de la condensation et du givrage de la vapeur d'eau contenue dans l'atmosphère au contact des vapeurs de gaz. Cela peut ne pas se produire si la température des vapeurs est proche de la température ambiante et si leur pression est relativement faible. Il existe des appareils capables de détecter une fuite de GHL et de transmettre une alarme pour des concentrations aussi basses que 15 à 20% de la limite inférieure d'inflammabilité (LII). Ces appareils peuvent également provoquer l'arrêt des opérations en cours et activer des systèmes de protection si les concentrations viennent à dépasser 40 à 50% de la LII. Certains sites industriels sont dotés d'une ventilation forcée permettant de maintenir les concentrations des mélanges air-gaz au-dessous de la LII. Les brûleurs d'appareils de chauffage et de fours peuvent également être équipés de dispositifs coupant immédiatement le débit de gaz en cas d'extinction de la flamme.

Les fuites de GHL hors de leurs réservoirs et récipients peuvent être réduites au minimum par l'emploi de limiteurs et de dispositifs de régulation. Lorsqu'ils sont détendus et libérés, les GHL s'échappent de leur récipient sous une pression négative et une basse température. La température d'autorefroidissement du gaz à basse pression devrait être prise en compte dans le choix des matériaux de construction des récipients et des vannes afin d'éviter la fragilisation et, partant, la rupture du métal du fait de son exposition aux basses températures.

Les GHL peuvent contenir de l'eau en phase liquide comme en phase gazeuse. La vapeur d'eau peut saturer le gaz dans une quantité, une température et une pression données. Si la température ou la pression changent, ou si la teneur en vapeur d'eau dépasse les limites d'évaporation, l'eau se condense, ce qui peut créer des bouchons de glace à l'intérieur des vannes et des régulateurs de débit et former des cristaux d'hydrates d'hydrocarbures dans les canalisations et autres appareils. On peut décomposer ces hydrates en chauffant le gaz, en abaissant sa pression ou en introduisant des produits comme le méthanol qui font baisser la pression de vapeur de l'eau.

Les gaz comprimés et les gaz liquéfiés ont des caractéristiques différentes qu'il convient de prendre en considération sous l'angle de la sécurité et de la santé. Certaines de ces caractéristiques sont illustrées au tableau 102.12.

**Les risques des gaz d'hydrocarbures liquéfiés pour la santé**

Le principal risque professionnel lié à la manipulation des GHL est la morsure par le froid de la peau et des yeux par contact avec le gaz liquide à l'occasion des échantillonnages, des mesurages, des remplissages, des réceptions, des livraisons et des autres activités liées à la manutention et au stockage. Par ailleurs, comme pour les autres gaz d'hydrocarbures, la combustion incomplète des GHL produit des quantités anormales de monoxyde de carbone.

A la pression atmosphérique et à faible concentration, les gaz d'hydrocarbures comprimés et liquéfiés ne sont normalement pas toxiques, mais ils sont asphyxiants, c'est-à-dire qu'ils chassent

l'oxygène (l'air) s'ils sont libérés dans des espaces clos ou confinés. Ils peuvent être toxiques s'ils contiennent des composés soufrés, en particulier du sulfure d'hydrogène. Comme les GHL sont incolores et inodores, on ajoute aux gaz destinés à la consommation des agents odorants, comme les mercaptans, afin de permettre la détection des fuites. Des mesures de sécurité devraient être mises en application pour protéger les opérateurs contre les expositions aux mercaptans et autres additifs lors des opérations de stockage et d'injection. L'exposition aux vapeurs de GPL en concentrations égales ou supérieures à la LII peut provoquer une dépression générale du système nerveux central comparable à l'effet des gaz anesthésiants ou intoxicants.

**Les risques d'incendie liés aux gaz d'hydrocarbures liquéfiés**

La rupture d'un récipient de gaz liquéfiés (GNL ou GPL) est un danger plus grave que la rupture d'un récipient de gaz comprimés du fait de la plus grande quantité de gaz libérée. Chauffés, les gaz liquéfiés réagissent différemment que les gaz comprimés, car ce sont des produits diphasiques (liquide-vapeurs). A mesure que la température s'élève, la pression de vapeur du liquide augmente et entraîne une hausse de pression à l'intérieur du récipient. Il y a d'abord expansion de la phase vapeur, puis du liquide, qui comprime alors les vapeurs. On suppose donc que la pression nominale des cuves de GHL est proche de la pression du gaz à la température ambiante maximale.

Lorsqu'un récipient de gaz liquéfié est exposé au feu, la situation peut devenir sérieuse si le métal situé au niveau de l'espace de vapeur s'échauffe. Contrairement à la phase liquide, la phase vapeur absorbe peu de chaleur. De ce fait, le métal chauffe rapidement jusqu'à un point critique où se produit une explosion catastrophique instantanée du réservoir. C'est ce que l'on appelle les explosions BLEVE (explosions dues à l'expansion des vapeurs d'un liquide en ébullition). L'importance d'une explosion BLEVE dépend de la quantité de liquide qui se vaporise au moment de la rupture du réservoir, de la taille des éclats, de la distance à laquelle ils sont projetés et des zones qu'ils atteignent. On peut protéger les conteneurs de GPL non calorifugés contre les explosions BLEVE en les arrosant d'eau sur les parties en contact avec la phase vapeur (non celles en contact avec le gaz liquéfié).

Les autres risques plus courants associés aux gaz d'hydrocarbures comprimés et liquéfiés sont les décharges électrostatiques, les explosions par combustion, les fortes explosions à l'air libre et les petites fuites des récipients, des vannes, des conduites, des flexibles et des raccords, ou de celles qui peuvent se produire au droit des joints des pompes.

- Des charges électrostatiques peuvent être engendrées lors du transport des GHL par pipelines, de leur chargement-déchargement, de leur mélange et de leur filtrage, ainsi que lors du nettoyage des réservoirs.
- Une explosion par combustion peut se produire quand du gaz ou des vapeurs s'échappent dans un espace confiné et se combinent à l'air pour créer un mélange inflammable. En cas de

Tableau 102.12 • Comparaison des caractéristiques du gaz naturel comprimé ou liquéfié

Type de gaz	Plage d'inflammabilité (% de gaz dans l'air)	Pouvoir calorifique (MJ/l)	Pression de stockage (bar)	Risques d'incendie	Risques pour la santé
Gaz naturel comprimé	5,0-15	5,51	En phase gazeuse 165,5-275,8	Gaz inflammable	Asphyxiant; surpression
Gaz naturel liquéfié	4,5-14	22,98	En phase liquide 2,8-9,7	Gaz inflammable: taux de détente 625:1; BLEVE	Asphyxiant; liquide cryogénique

contact avec une source d'inflammation, ce mélange brûle instantanément, dégageant une chaleur extrême. L'air très chaud se détend rapidement en provoquant une importante élévation de pression. Si le local ou la construction n'est pas assez solide pour résister à cette pression, il se produit une explosion par combustion.

- Les feux de gaz inflammables se produisent quand le gaz ou les vapeurs libérés ne sont pas confinés ou si une inflammation se produit alors qu'une petite quantité de gaz s'est échappée.
- Les fortes explosions à l'air libre ont lieu en cas de rupture massive d'un récipient qui libère un important nuage de gaz prenant feu avant d'avoir été dispersé.

La maîtrise des sources d'inflammation dans les zones dangereuses est indispensable pour la sécurité de manutention des gaz d'hydrocarbures comprimés ou liquéfiés. On peut à cet effet établir un système d'autorisation et de réglementation des travaux à chaud, de l'usage du tabac, de l'utilisation de véhicules et autres moteurs à combustion interne, ainsi que de celle de flammes nues dans les zones où des gaz d'hydrocarbures comprimés et liquéfiés sont transportés, stockés ou manutentionnés. Les autres précautions comprennent l'emploi d'équipements électriques antidéflagrants et de systèmes de mise à la terre pour neutraliser et dissiper les charges d'électricité statique.

Le meilleur moyen de réduire les risques d'incendie dans le cas de fuites de gaz d'hydrocarbures comprimés ou liquéfiés est d'arrêter la fuite ou l'écoulement du produit lorsque c'est possible. Bien que la plupart des GHL se vaporisent au contact de l'air, les GPL à faible pression de vapeur, comme le butane, et même certains GPL à pression de vapeur plus élevée, comme le propane, forment des flaques si la température ambiante est assez basse. Ces flaques ne devraient pas être arrosées d'eau, car l'agitation ainsi créée augmenterait le taux de vaporisation. La vaporisation des flaques de produit répandu peut être prévenue par l'application de mousse, opération qui doit être conduite avec soin. L'eau, à la condition d'être appliquée correctement sur un robinet qui fuit ou une petite fissure, peut geler au contact du gaz liquéfié froid et colmater la fuite. Les feux de GHL exigent un contrôle du choc thermique sur les réservoirs et les récipients par arrosage d'eau froide. Bien que les feux de gaz d'hydrocarbures comprimés et liquéfiés puissent être éteints par pulvérisation d'eau et par des extincteurs à poudre, il est souvent plus prudent de les laisser brûler en les surveillant de façon qu'un nuage de vapeurs explosibles combustibles ne puisse se former et se réenflammer si le gaz continuait de s'échapper une fois l'incendie éteint.

## ● L'ENTREPOSAGE

*John Lund*

L'entreposage est depuis longtemps une industrie mondiale; les magasins et les entrepôts sont intimement liés au commerce et au transport des marchandises par rail, par mer, par air ou par route. Les magasins de stockage peuvent être classés suivant le type de produits stockés: produits alimentaires conservés dans des locaux secs, chambres froides ou congélateurs-chambres; articles d'habillement et textiles; équipements et matériaux de construction; machines et pièces détachées. Aux Etats-Unis, en 1995, 1 877 000 personnes étaient employées dans le secteur du camionnage et de l'entreposage (Bureau of Labor Statistics (BLS), 1996); ce chiffre ne peut être décomposé en effectifs par types ou catégories de magasins. Les magasins vendent à des clients externes (détail) ou internes (gros). Les quantités déstockées peuvent être des charges complètes (palettes entières) ou fractionnées (un

ou plusieurs colis prélevés d'une palette). Des moyens mécaniques (chariots élévateurs à fourche, convoyeurs, transtockeurs, etc.) peuvent être utilisés pour le transport de charges complètes ou fractionnées; des opérateurs peuvent aussi les transporter manuellement sans l'assistance d'engins spéciaux. Quels que soient la nature de l'entreprise, les produits stockés ou le mode de transport employé dans le magasin, ce schéma de base reste pratiquement inchangé, malgré les différences susceptibles d'exister probablement au niveau de l'ampleur des opérations, de la terminologie et des techniques mises en œuvre (pour des informations plus complètes sur les transtockeurs, voir Martin, 1987).

Les produits sont amenés par les transporteurs ou les fournisseurs à des quais de réception. On les référence alors dans un système de gestion de stock manuel ou informatisé, on leur affecte un rayonnage, casier ou alvéole (l'adresse de rangement), et on les transporte ensuite vers cet emplacement, habituellement par un moyen mécanique (convoyeur, transtockeur, chariot élévateur à fourche ou tracteur). Lorsque des palettes entières sont déstockées, on se sert d'un moyen mécanique, par exemple un chariot élévateur à fourche ou un tracteur conduit par un opérateur (voir figure 102.17). Dans le cas d'une charge fractionnée (un ou plusieurs colis pris d'un rayonnage ou d'une alvéole), la manutention est manuelle et est assurée par un préparateur de commandes, qui prélève les articles et les place sur un transpalette, un chariot ou un convoyeur. La commande d'un client donnée est assemblée sur une palette ou dans un autre type d'emballage en vue de son expédition, avec apposition d'une étiquette ou d'un autre marquage contenant la facture et les instructions d'expédition. Cette tâche peut être effectuée par un préparateur de commandes ou un cariste, ou encore, lorsqu'un convoyeur est utilisé pour amener les colis sur une aire de groupage des commandes, par un préposé ou «assembleur». Quand la commande est prête pour l'expédition, elle est chargée par un moyen mécanique sur un camion, une remorque, un wagon ou un navire (voir figure 102.18).

Près de 60% des activités ont directement trait aux déplacements dans le magasin; le reste se rapporte aux manutentions manuelles. En dehors du travail important réalisé par les employés administratifs, les contrôleurs de mouvements, les agents de nettoyage et les personnels d'encadrement et de direction, la plus grande part des activités de transport et de manutention des

Figure 102.17 • Chariot élévateur à fourche chargeant des pommes au Royaume-Uni



produits est assurée essentiellement par deux catégories d'opérateurs: les caristes et les préparateurs de commandes.

L'intense concurrence mondiale et l'arrivée rapide de nouvelles firmes ont suscité la volonté d'améliorer l'efficacité de la main-d'œuvre et des espaces de stockage, qui à son tour a donné naissance à une nouvelle discipline appelée *systèmes de gestion d'entrepôt* (*Warehouse Management systems (WMS)*) (Register, 1994). Ces systèmes sont de moins en moins chers et de plus en plus performants; ils font appel à des réseaux d'ordinateurs, des codes-barres, des logiciels et des communications radio, permettant ainsi une gestion et un contrôle beaucoup plus rigoureux des stocks et des opérations des magasins de stockage; ceux-ci sont dès lors en mesure de réduire leurs délais et d'accroître leur réactivité, parallèlement à une amélioration spectaculaire de la précision des inventaires et à une réduction notable des coûts (Firth, 1995).

Essentiellement, les systèmes de gestion d'entrepôt informatisent la tenue des stocks et la gestion de la préparation des commandes. Lorsqu'un produit est reçu d'un fournisseur ou d'un transporteur au quai de chargement, des lecteurs de codes-barres enregistrent son code et sa désignation, mettant instantanément à jour la base de données du stock; dans le même temps, le produit se voit affecter une adresse dans le magasin. Grâce aux systèmes de communication radio embarqués, un cariste est averti et se charge d'enlever le produit.

Les commandes des clients sont reçues par un autre programme informatique qui consulte dans la base de données l'adresse et la disponibilité du produit pour chaque article requis, puis trie la commande en fonction des trajets les plus efficaces, afin de limiter au minimum les déplacements. Des étiquettes portant le nom, le code et l'emplacement du produit sont imprimées et remises aux préparateurs qui traitent alors la commande. S'il est clair que ces fonctionnalités de l'informatique permettent d'améliorer le service au client et l'efficacité, elles sont aussi largement à la base de l'établissement de *normes scientifiques de rendement* (*Engineered Work Standards (EWS)*), qui peuvent entraîner des risques supplémentaires de sécurité et de santé pour les caristes et les préparateurs de commandes.

Les informations relatives à chaque commande (nombre de colis, distances de déplacement, etc.), générées par le programme de préparation des commandes, peuvent être combinées à des temps types ou alloués pour chaque activité afin de calculer un temps standard global pour la préparation d'une commande donnée. Il serait extrêmement long et difficile d'extraire ces informations sans outil informatique. La surveillance par ordinateur peut être utilisée pour enregistrer le temps passé sur chaque commande, comparer le temps effectif au temps alloué, puis calculer un indice d'efficacité que tout superviseur ou membre de la direction peut consulter en pianotant simplement sur un clavier d'ordinateur.

Les normes scientifiques de rendement pour les magasins de stockage se sont diffusées des Etats-Unis vers l'Australie, le Canada, le Royaume-Uni, l'Allemagne, l'Autriche, la Finlande, la Suède, l'Italie, l'Afrique du Sud, les Pays-Bas et la Belgique. Bien que ces normes n'ajoutent pas nécessairement par elles-mêmes des risques de sécurité et de santé, de nombreux indices permettent de penser que la charge de travail élevée, le manque de contrôle sur le rythme de travail et la fréquence accrue des opérations de levage contribuent sensiblement aux risques d'accidents. En outre, la pression imposée par ces normes peut forcer les opérateurs à faire des manœuvres risquées et à ne pas appliquer les méthodes de sécurité appropriées. Ces risques et dangers sont exposés ci-après.

### Les risques

Tout magasin de stockage, quels que soient son niveau technologique ou son degré d'informatisation, comporte une myriade de risques de sécurité et de santé pour le personnel. Les systèmes de

gestion d'entrepôt peuvent être liés à différentes catégories de risques.

Les risques de base pour la santé sont en premier lieu ceux que posent les matériaux potentiellement toxiques se trouvant dans le magasin, par exemple les produits pétroliers, les solvants, les colorants, etc. Ces substances nécessitent un étiquetage correct, une bonne formation et une sensibilisation des travailleurs, ainsi qu'une information efficace sur les risques professionnels, comprenant notamment les fiches de données de sécurité (FDS), s'adressant à tous les employés concernés, qui connaissent souvent mal les effets pathologiques des produits qu'ils manutentionnent et encore plus mal les méthodes de manutention appropriées et les procédures à suivre pour le nettoyage et en cas de déversement (voir, par exemple, la convention (n° 170) et la recommandation (n° 177) sur les produits chimiques, 1990, de l'Organisation internationale du Travail (OIT)). Il faut citer ensuite le bruit produit par les chariots à moteur à essence ou à gaz, les convoyeurs, les systèmes de ventilation et les équipements pneumatiques. En outre, les opérateurs de ces équipements peuvent être soumis à des vibrations transmises à l'ensemble du corps (voir, par exemple, la convention (n° 148) et la recommandation (n° 156) sur le milieu de travail (pollution de l'air, bruit et vibrations), 1977, de l'OIT).

Les caristes et les préparateurs de commandes sont exposés aux gaz d'échappement des véhicules diesel ou à essence accostés aux quais de chargement-déchargement lorsqu'ils remettent ou prennent des marchandises et, à l'intérieur du magasin, aux gaz d'échappement des chariots à moteur. L'éclairage peut ne pas être suffisant pour la bonne exécution des opérations (conduite des chariots et autres véhicules, identification des articles à prélever). Les opérateurs travaillant en chambre froide (chambres frigorifiques ou pour produits congelés) peuvent souffrir d'hypothermie du fait de l'exposition aux basses températures et aux systèmes de recirculation de l'air. Les chambres froides sont souvent à des températures proches de -20 °C, même lorsque le facteur mouvement de l'air est négligé. En outre, comme peu de magasins de stockage sont climatisés durant les mois d'été, les opérateurs, en particulier ceux qui assurent des manutentions manuelles, peuvent être exposés à une forte contrainte thermique.

Figure 102.18 • Docker utilisant un appareil de levage pour manutentionner des quartiers de bœuf au Royaume-Uni



## Études de l'Institut national de la sécurité et de la santé au travail (National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH)), aux États-Unis, sur les lésions corporelles chez les préparateurs de commandes dans les entrepôts de produits alimentaires

Le NIOSH a étudié les lésions liées au levage et d'autres lésions connexes dans deux entrepôts de produits alimentaires (ci-après «entrepôt A» et «entrepôt B» (NIOSH, 1993a; NIOSH, 1995). Le travail dans ces deux entrepôts est régi par des normes techniques qui servent à mesurer la performance des préparateurs de commandes; ceux qui n'atteignent pas la norme sont sanctionnés. Les données du tableau 102.13 sont exprimées en pourcentages et se réfèrent soit à l'ensemble des lésions, soit uniquement aux lombalgies déclarées au cours des années 1987 à 1992.

Au risque de généraliser ces données au-delà de leur contexte, les chiffres des lésions et des maladies à déclaration obligatoire relevés pour ces établissements, quel que soit le mode de calcul, sont très importants et nettement plus élevés que pour l'ensemble du secteur industriel considéré, toutes catégories professionnelles confondues. Si le total des lésions est en légère baisse dans l'entrepôt A, il augmente dans l'entrepôt B. Toutefois, le nombre des lombalgies dans l'entrepôt B, à l'exception de l'année 1992, est à la fois très stable et très élevé. D'une manière générale, ces données indiquent que les préparateurs de commandes ont pratiquement trois chances sur dix, dans une année donnée, de souffrir d'une lombalgie imposant un traitement médical ou un arrêt de travail.

L'Association américaine des entrepôts de produits alimentaires (National Association of Grocery Warehouses of America (NAGWA)) a signalé que les lombagos et les entorses représentaient 30% de toutes les lésions enregistrées dans les entrepôts de produits alimentaires et qu'un tiers de l'ensemble des opérateurs de ces établissements (et non pas seulement les préparateurs de commandes) s'inflige une blessure à déclaration obligatoire par an; ces chiffres concordent avec les études du NIOSH. En outre, la NAGWA estime le coût de ces lésions (essentiellement en indemnités) à 0,61 dollar par heure pour la période 1990-1992 (près de 1 270 dollars par travailleur et par an). Elle a également établi que le levage manuel était la cause principale des lombalgies dans 54% des cas étudiés.

En plus de cette analyse des statistiques des traumatismes et des maladies, les enquêteurs du NIOSH ont demandé à tous les préparateurs de commandes de ces entrepôts de remplir un questionnaire. Dans l'entrepôt A, sur les 38 préparateurs à temps plein, 50% ont signalé au moins un traumatisme et 18% au moins une lombalgie au cours des douze mois précédents. Pour l'entrepôt B, 63% des 19 préparateurs à temps plein ont déclaré avoir été victimes d'au moins un accident à déclaration obligatoire au cours des douze mois précédents et 47% d'au moins une lombalgie. Parmi les préparateurs à temps plein de l'entrepôt A, 70% ont signalé des douleurs lombaires importantes dans l'année précédente, de même que 47% des

préparateurs à temps plein de l'entrepôt B. Ces chiffres, issus des questionnaires, correspondent étroitement aux données des études sur les lésions et les maladies.

Outre l'étude des données sur les lésions du dos, le NIOSH a appliqué son équation modifiée du levage à un échantillon de tâches de levage manuel des préparateurs de commandes et a constaté que toutes les tâches incluses dans l'échantillon dépassaient très sensiblement la limite de poids recommandée, ce qui indique que les tâches étudiées étaient hautement contraignantes du point de vue ergonomique. En outre, les efforts de compression ont été estimés sur le disque intervertébral L5/S1; tous dépassaient la limite biomécanique recommandée de 3,4 kN (kilonewtons) considérée comme étant le seuil supérieur pour la protection de la plupart des opérateurs contre le risque de traumatismes de la région lombaire.

Enfin, le NIOSH, en appliquant les méthodes de la dépense énergétique et de la consommation d'oxygène, a calculé la demande énergétique des préparateurs de commandes de produits alimentaires dans les deux entrepôts. Il a constaté que la demande moyenne dépassait le critère établi de 5 kcal/min (4 METS) pour une journée de travail de huit heures, qui est considéré comme un travail de modéré à dur pour une majorité de préparateurs en bonne santé. Dans l'entrepôt A, la dépense énergétique allait de 5,4 à 8,0 kcal/min, et le rythme cardiaque de travail de 104 à 131 pulsations par minute. Dans l'entrepôt B, ces chiffres étaient respectivement 2,6 à 6,3 kcal/min, et 138 à 146 pulsations par minute. La demande énergétique des préparateurs du fait de levages continus à raison de 4,1 à 4,9 par minute entraîne probablement une fatigue musculaire, spécialement dans les postes de dix heures ou plus. Ces éléments illustrent clairement le coût physiologique du travail dans les deux entrepôts étudiés. En résumant ses observations, le NIOSH conclut à propos des risques encourus par les préparateurs de commandes dans les entrepôts de produits alimentaires:

En résumé, tous les préparateurs de commandes présentent un risque élevé de troubles musculo-squelettiques, notamment de lombalgies, en raison de la combinaison de facteurs contribuant tous à la fatigue, d'une charge métabolique élevée et de leur incapacité de réguler leur rythme de travail du fait des exigences de leur tâche. Suivant les critères reconnus définissant la capacité des opérateurs et le risque connexe de douleurs lombaires, l'emploi de préparateurs dans cet établissement fait encourir, même à des travailleurs sérieusement sélectionnés, un risque substantiel de développer des lésions de la région lombaire. En outre, d'une manière générale, on peut penser que les normes de rendement existantes encouragent ces niveaux d'effort excessifs (NIOSH, 1995).

Les risques matériels sont eux aussi nombreux et divers. En dehors des risques les plus évidents découlant de la circulation simultanée de piétons et de véhicules, nombre d'accidents de personnes dans les magasins proviennent de glissades, de faux pas et de chutes sur des sols rendus glissants soit par la présence de givre, d'eau ou de flaques de produits répandus, soit du fait qu'ils sont mal entretenus; beaucoup d'accidents concernent des caristes qui glissent ou tombent en montant ou en descendant de leur engin. Les opérateurs sont souvent exposés à des chutes d'objets depuis des rayonnages en hauteur. Ils risquent également d'être pris dans les mâts, fourches et charges des chariots et être alors victimes d'accidents graves. La manipulation des palettes en bois peut également provoquer des blessures par des

échardes. L'emploi de couteaux pour couper les emballages provoque souvent des lacérations. Les opérateurs qui enlèvent ou placent des objets sur des convoyeurs peuvent se trouver pris dans les mécanismes. Les préparateurs de commandes, assembleurs et autres opérateurs sont exposés à des degrés divers au risque de lombalgies et autres lésions apparentées. Les réglementations relatives aux poids à soulever et les méthodes préconisées pour la manipulation des charges sont traitées dans d'autres chapitres de l'*Encyclopédie*.

Aux États-Unis, par exemple dans le secteur de l'entreposage, le nombre des accidents corporels à déclaration obligatoire et celui des journées de travail perdues sont beaucoup plus élevés que pour le reste de l'industrie.

Tableau 102.13 • Lésions du dos et ensemble des lésions et des maladies d'origine professionnelle déclarés par les préparateurs de commandes dans deux entrepôts de produits alimentaires ayant fait l'objet d'une étude du NIOSH, 1987-1992

Année	Entrepôt A: toutes affections confondues (%)	Entrepôt B: toutes affections confondues (%)	Entrepôt A: lombalgies uniquement (%)	Entrepôt B: lombalgies uniquement (%)
1987	79	nd	28	nd
1988	88	nd.	31	nd
1989	87	62	39	21
1990	81	62	31	31
1991	52	83	28	29
1992	nd	86	nd	17

Note: nd = non disponible.

Sources: National Institute for Safety and Health (NIOSH), 1993a, 1995.

On ne dispose pas de données sur les lésions corporelles (en particulier les lombalgies) chez les préparateurs de commandes de produits alimentaires — le groupe le plus exposé aux lésions liées au soulèvement de charges —, ni à l'échelon national, ni à l'échelon international. L'Institut national de la sécurité et de la santé au travail (National Institute for Safety and Health (NIOSH)), aux États-Unis, a mené des études sur les pathologies liées au soulèvement de charges et les autres lésions connexes dans deux entrepôts de produits alimentaires (voir encadré p. 71). Il a conclu que «tous les préparateurs de commandes présentent un risque élevé de troubles musculo-squelettiques, notamment de lombalgies, en raison de la combinaison de facteurs de travail contribuant tous à la fatigue, d'une charge métabolique élevée et du fait qu'ils ne sont pas en mesure d'adapter leur rythme de travail à cause des exigences de leurs tâches» (NIOSH, 1995).

Une application générale de l'ergonomie aux magasins de stockage ne devrait pas se limiter au soulèvement des charges et à la préparation des commandes. Il faut adopter une perspective plus large et faire une analyse détaillée des charges, avec des mesurages et des évaluations minutieuses (une partie de l'analyse des tâches doit commencer par l'analyse des conditions de sécurité au poste de travail décrites ci-après). Il faut envisager de façon plus globale la conception des casiers et des rayonnages et établir une collaboration plus étroite avec les constructeurs d'engins pour que les chariots élévateurs à fourche soient conçus d'origine, ou rééquipés, avec des postes de conduite permettant de réduire les facteurs de risques ergonomiques (distances d'atteinte des commandes, flexion et extension des jambes, rotation des bras, positions malcommodes du cou et du corps). Les fournisseurs de matériels devraient proposer des récipients moins lourds et moins encombrants, munis de poignées et de dispositifs de saisie afin de diminuer les risques liés au levage des charges.

### Les actions correctives

#### Les risques de santé de base

Les employeurs, les travailleurs et les syndicats devraient collaborer pour élaborer et appliquer un programme efficace d'information sur les risques professionnels, en mettant l'accent sur les trois principes fondamentaux ci-après:

1. un étiquetage approprié de toutes les substances toxiques;
2. la mise à disposition de FDS donnant pour chaque substance des informations détaillées sur les risques pour la santé, les risques d'incendie, la réactivité, les équipements de protection

individuelle, les premiers secours, le nettoyage en cas de déversement accidentel et les autres procédures d'urgence;

3. une formation régulière et appropriée des opérateurs aux techniques correctes de manutention.

Parmi les infractions relevées par l'Administration de la sécurité et de la santé au travail (Occupational Safety and Health Administration (OSHA)), aux États-Unis, dans le secteur de l'entreposage, l'absence d'un programme d'information efficace sur les risques professionnels est l'une des plus courantes.

Le bruit et les vibrations des équipements mécaniques, convoyeurs automatiques et autres sources nécessitent des contrôles fréquents des niveaux de bruit et de vibrations et une formation des opérateurs, ainsi que des mesures de prévention technique en cas de besoin. Ces mesures sont d'autant plus efficaces qu'elles sont appliquées à la source du bruit sous forme d'isolation phonique, de silencieux et d'autres solutions (comme les caristes sont en général assis au-dessus du moteur, l'amortissement du bruit et des vibrations en cet emplacement est généralement très efficace). L'éclairage devrait être vérifié fréquemment et maintenu à des niveaux suffisants pour réduire les collisions véhicules-piétons et permettre une lecture aisée de l'identification des produits et d'autres informations. Des programmes de prévention du stress thermique (chaleur ou froid) devraient être mis en application dans les établissements situés dans les climats chauds et humides et pour les préparateurs de commandes et les caristes travaillant en chambre froide, afin de s'assurer que les pauses, boissons, formation et informations nécessaires leur sont fournies et que les mesures préventives nécessaires sont mises en œuvre. Enfin, lorsque des carburants diesel ou à base de pétrole sont utilisés, les systèmes d'échappement devraient être périodiquement contrôlés pour vérifier que les émissions de monoxyde de carbone et d'oxydes d'azote n'excèdent pas les limites admissibles. Le bon entretien des véhicules et la limitation de leur emploi en zones convenablement ventilées contribueront également à réduire le risque de surexposition à ces émissions.

#### Les risques pour les caristes et les opérateurs de véhicules

Les collisions véhicules-piétons sont un risque permanent dans les magasins de stockage. Les allées réservées aux piétons devraient être clairement marquées et respectées. Tous les conducteurs devraient être formés à la sécurité de conduite de leur véhicule, comprenant les règles de circulation et les limitations de vitesse; un recyclage périodique devrait être prévu. Des miroirs devraient être placés aux carrefours fréquentés ou dans les angles morts

pour permettre aux conducteurs de voir l'arrivée d'autres véhicules ou de piétons avant de s'engager; l'avertisseur sonore devrait être systématiquement utilisé. L'emploi de signaux de recul, sonores ou autres, peut aussi être envisagé. Les ponts de liaison des quais de chargement-déchargement des camions, des wagons ou des barges devraient pouvoir supporter leurs charges et être solidement fixés.

Le tableau 102.14 présente une analyse de sécurité des tâches pour les caristes, ainsi que des recommandations.

L'application de solutions ergonomiques efficaces nécessite une coordination plus étroite avec les constructeurs de chariots élévateurs à fourche et de véhicules; il ne suffit pas de s'en remettre à la seule formation des opérateurs et aux règles de circulation. En outre, les organismes de prévention ont établi des normes obligatoires pour la conception et l'utilisation des chariots élévateurs à fourche, par exemple avec l'obligation de toits ou de cadres de protection contre la chute d'objets (voir figure 102.19).

**Les risques de sécurité pour les préparateurs de commandes**

Le tableau 102.15 présente une analyse de sécurité des tâches énumérant la plupart des mesures correctives à prendre pour réduire les risques d'accidents et ceux liés au levage encourus par les préparateurs de commandes. Cependant, de même qu'une meilleure conception des chariots élévateurs à fourche en vue de

Figure 102.19 • Chariot élévateur à fourche équipé d'un toit de protection



Veiligheidsinstituut, Amsterdam

Tableau 102.14 • Analyse de sécurité d'un poste: cariste

Éléments du poste ou tâches	Risques présents	Mesures de protection recommandées
Montée/descente du chariot élévateur à fourche	Glissades/trébuchements sur le sol (graisse, eau, carton) lors des montées/descentes; douleurs au dos ou à l'épaule suite aux montées/descentes répétées dans de mauvaises postures et chocs de la tête contre la structure de protection	Entretien et nettoyer correctement les sols, en particulier dans les zones à forte circulation; faire attention lors des montées/descentes; utiliser la méthode trois points pour accéder et sortir de la cabine de conduite; faire attention à ne pas se cogner la tête contre le toit de protection: saisir les montants du toit de protection avec les deux mains, placer le pied gauche sur le marchepied (s'il existe) puis, en poussant du pied droit, se hisser dans la cabine
Conduite à vide et en charge	Piétons et autres véhicules pouvant traverser soudainement; éclairage insuffisant; risques provenant du bruit et des vibrations; rotation et torsion du cou dans des postures contraignantes; conduite pouvant nécessiter des mouvements de torsion des poignets, de rotation des bras ou des efforts excessifs; pédales de frein et d'accélérateur nécessitant souvent des positions anormales du pied et de la jambe en postures statiques	Ralentir dans les zones à forte circulation; s'arrêter et donner un coup d'avertisseur à tous les croisements de travées; contourner les piétons avec précaution; respecter les limitations de vitesse; veiller au bon éclairage et procéder à des vérifications périodiques de l'éclairage; installer et maintenir en bon état des protections antivibrations et antibruit sur tous les véhicules et équipements; procéder à des contrôles réguliers des niveaux de bruit; les opérateurs doivent pivoter le torse à hauteur de la taille, non du cou, en particulier pour regarder derrière les rétroviseurs installés sur le chariot et observer les alentours; installer (en première monte ou en rééquipement) et maintenir en bon état une direction assistée et un volant réglable en inclinaison et en hauteur qui soit bien adapté au cariste et qui lui permette de maîtriser les retours brusques du volant; prévoir des pauses fréquentes pour récupérer de la fatigue des postures statiques; envisager de modifier les pédales pour diminuer l'angle du pied (extension) et pour que la pédale d'accélérateur soit articulée au plancher
Levage ou abaisssement des fourches à vide et en charge	Extension et torsion du cou pour bien voir la charge; atteinte des commandes manuelles pouvant nécessiter des mouvements exagérés d'extension ou de rotation des bras	Pivoter ou pencher le torse, non le cou; choisir un chariot offrant une bonne visibilité à travers le mât et ayant des commandes placées à bonne distance (sur le côté, non pas sur le tableau de bord à côté du volant) sans être toutefois trop proches ou trop élevées ni nécessiter des mouvements de rotation des bras; envisager d'adapter le matériel avec l'autorisation du constructeur
Remplissage du réservoir ou remplacement des batteries	Le remplissage du réservoir de carburant, le remplacement de la bouteille de GPL ou des batteries peuvent demander des efforts de levage excessifs dans des positions inconfortables	Assurer les levages par au moins deux personnes ou à l'aide d'un palan; envisager de modifier le chariot pour aménager un emplacement plus accessible du réservoir

102. LES TRANSPORTS ET L'ENTREPOSAGE

réduire les facteurs de risque ergonomiques nécessite une collaboration plus étroite avec les constructeurs, la réduction des risques d'accidents associés au levage exige, pour les préparateurs, une collaboration similaire avec les concepteurs des systèmes de rayonnages, les bureaux d'études qui conçoivent et installent les systèmes informatiques de gestion de magasin et les normes scientifiques, ainsi qu'avec les fournisseurs qui stockent leurs produits dans le magasin. Ceux-ci pourraient être invités à proposer des produits moins encombrants et moins lourds, munis le cas échéant de poignées ou de dispositifs de saisie mieux étudiés. Les constructeurs de rayonnages pourraient être utilement mis à contribution pour la conception et l'adaptation de systèmes permettant aux préparateurs de commandes de prélever les articles tout en restant debout.

Les bureaux d'études qui conçoivent et installent les systèmes informatiques de gestion de magasin et les normes scientifiques

devraient être mieux informés des risques pour la sécurité et la santé que l'intensification du travail fait peser sur les manutentions manuelles. Le NIOSH (1993a, 1995) a recommandé le recours à des méthodes plus objectives de détermination des majorations pour fatigue (telles que des mesures de la consommation d'oxygène ou du rythme cardiaque). Il a également préconisé que la hauteur des palettes chargées soit limitée à 1,50 m, et qu'on ménage une pause après qu'une palette a été assemblée par le préparateur de commandes afin d'augmenter la fréquence des périodes de récupération entre les commandes. En plus des pauses plus fréquentes, le NIOSH a préconisé de limiter les heures supplémentaires demandées aux travailleurs sur la base des normes scientifiques, d'envisager une rotation appropriée des effectifs et de prévoir un allègement des tâches pour les préparateurs de commandes qui reviennent de convalescence ou de congé.

Tableau 102.15 • Analyse de sécurité de poste: préparateur de commandes

Éléments de travail ou tâches	Risques présents	Mesures de protection recommandées
Monter/descendre du transpalette	Glissades/trébuchements sur le sol (graisse, eau, carton) lors des montées/descentes	Entretien et nettoyage correctement des sols, en particulier dans les zones à forte circulation; faire attention lors des montées/descentes
Se déplacer dans les allées	Piétons et autres véhicules pouvant traverser soudainement; éclairage; bruit	Ralentir dans les zones à forte circulation; s'arrêter et donner un coup d'avertisseur à tous les croisements de travées; contourner les piétons avec précaution; respecter les limitations de vitesse; veiller au bon éclairage et procéder à des vérifications périodiques de l'éclairage; installer et maintenir en bon état des protections antivibrations et antibruit sur tous les véhicules et équipements; procéder à des contrôles réguliers des niveaux sonores
Prélever l'article dans le casier, le porter jusqu'à la palette, le placer sur la palette	Lésions dues au levage de charges, douleurs aux épaules, au dos et au cou; chocs de la tête contre les rayonnages; stress thermique; contrainte froide dans les congélateurs-chambres ou les chambres froides	Travailler en collaboration avec les fournisseurs pour réduire au minimum le poids des emballages et installer des poignées ou autres moyens de saisie sur les articles encombrants ou lourds; stocker les articles lourds à la hauteur des genoux (au moins); ne pas stocker les articles nécessitant des efforts importants plus haut que les épaules ou prévoir des escabeaux, emmarchements ou plates-formes avec utilisation de palettes afin que le préparateur des commandes n'ait pas à étendre le corps par-dessus des colis déjà posés sur la palette pour placer un article prélevé; modifier les chariots ou les transpalettes pour qu'ils montent plus haut afin que le préparateur n'ait pas à se pencher pour placer les articles sur le chariot ou le transpalette; limiter le volume des palettes pour éviter les mouvements «bras en l'air»; prévoir une surveillance régulière des contraintes thermiques; mettre à disposition des boissons en quantité suffisante; prévoir des programmes de formation; fournir les vêtements adaptés et ménager des pauses fréquentes
Séparer les palettes en vue de leur suremballage, les marquer ou les transporter au quai de chargement	Glissades/trébuchements sur le sol (graisse, eau, carton) lors des montées/descentes	Entretien et nettoyage correctement des sols, en particulier dans les zones à forte circulation; faire attention lors des montées/descentes

Références bibliographiques

American National Standards Institute (ANSI), 1967: *Illumination*, ANSI A11.1-1967 (New York).

American Petroleum Institute (API), 1995: *Using the API Color-symbol System to Mark Equipment and Vehicles for Product Identification at Service Stations and Distribution Terminals*, Recommended Practice 1637, 2<sup>e</sup> édition (Washington, DC).

Anton, D.J., 1988: «Crash dynamics and restraint systems», dans J. Ernsting et P.F. King (directeurs de publication): *Aviation Medicine*, 2<sup>e</sup> édition (Londres, Butterworth).

Beiler, H. et Tränkle, U., 1993: «Fahrerarbeit als Lebensarbeitsperspektive», dans *Euröpäische Forschungsansätze zur Gestaltung der Fahrtätigkeit im ÖPNV* (S. 94-98), Bundesanstalt für Arbeitsschutz (Bremerhaven, Wirtschaftsverlag NW).

Bureau international du Travail (BIT), 1992: *Evolution récente dans le domaine des transports internes*, Rapport I, Commission des transports internes, 12<sup>e</sup> session (Genève).

—. 1996: *Prévention des accidents à bord des navires en mer et dans les ports*, Recueil de directives pratiques, 2<sup>e</sup> édition (Genève).

Bureau of Labor Statistics (BLS), 1996: *Safety and Health Statistics* (Washington, DC).

Canadian Urban Transit Association, 1992: *Ergonomic Study of the Driver's Workstation in Urban Buses* (Toronto).

Decker, J.A., 1994: *Health Hazard Evaluation: Southwest Airlines, Houston Hobby Airport, Houston, Texas*, HETA-93-0816-2371 (Cincinnati, Ohio, National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH)).

DeHart, R.L., 1992: «Aerospace medicine», dans M.L. Last et R.B. Wallace (directeurs de publication): *Public Health and Preventive Medicine*, 13<sup>e</sup> édition (Norwalk, Connecticut, Appleton and Lange).

- DeHart, R.L. et Beers, K.N., 1985: «Aircraft accidents, survival, and rescue», dans R.L. DeHart (directeur de publication): *Fundamentals of Aerospace Medicine* (Philadelphie, Pennsylvanie, Lea and Febiger).
- Eisenhardt, D. et Olmsted, E., 1996: *Investigation of Jet Exhaust Infiltration into a Building Located on John F. Kennedy (JFK) Airport Taxiway* (New York, US Department of Health and Human Services, Public Health Service, Division of Federal Occupational Health, New York Field Office).
- Firth, R., 1995: «Steps to successfully installing a warehouse management system», *Industrial Engineering*, vol. 27, n° 2, pp. 34-36.
- Friedberg, W., Snyder, L., Faulkner, D.N., Darden, E.B., Jr. et O'Brien, K., 1992: *Radiation Exposure of Air Carrier Crewmembers II*, DOT/FAA/AM-92-2.19 (Oklahoma City, Oklahoma, Civil Aeromedical Institute; Washington, DC, Federal Aviation Administration (FAA)).
- Gentry, J.J., Semeijn, J. et Vellenga, D.B., 1995: «The future of road haulage in the new European Union — 1995 and beyond», *Logistics and Transportation Review*, vol. 31, n° 2, p. 149.
- Giesser-Weigt, M. et Schmidt, G., 1989: *Verbesserung der Arbeitssituation von Fahrern im öffentlichen Personennahverkehr* (Bremerhaven, Wirtschaftsverlag NW).
- Glaister, D.H., 1988a: «The effects of long duration acceleration», dans *Aviation Medicine*, op. cit.
- . 1988b: «Protection against long duration acceleration», dans *Aviation Medicine*, op. cit.
- Haas, J., Petry, H. et Schühlein, W., 1989: *Untersuchung zur Verringerung berufsbedingter Gesundheitsrisiken im Fahrdienst des öffentlichen Personennahverkehrs* (Bremerhaven, Wirtschaftsverlag NW).
- International Chamber of Shipping, 1978: *International Safety Guide for Oil Tankers and Terminals* (Londres, Witherby).
- Joyner, K.H. et Bangay, M.J., 1986: «Exposure survey of civilian airport radar workers in Australia», *Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy*, vol. 21, n° 4, pp. 209-219.
- Landsbergis, P.A., Stein, D., Iacopelli, D. et Fruscella, J., 1994: *Work environment survey of air traffic controllers and development of an occupational safety and health training program*, presented at the American Public Health Association, 1 November (Washington, DC).
- Leverett, S.D. et Whinnery, J.E., 1985: «Biodynamics: Sustained acceleration», dans *Fundamentals of Aerospace Medicine*, op. cit.
- Magnier, M., 1996: «Experts: Japan has the structure but not the will for intermodalism», *Journal of Commerce and Commercial*, vol. 407, p. 15.
- Martin, R.L., 1987: «AS/RS: From the warehouse to the factory floor», *Manufacturing Engineering*, vol. 99, pp. 49-56.
- Meifort, J., Reiners, H. et Schuh, J., 1983: *Arbeitsbedingungen von Linienbus- und Straßenbahnfahrern der Dortmunder Stadtwerke Aktiengesellschaft* (Bremerhaven, Wirtschaftsverlag NW).
- Miyamoto, Y., 1986: «Eye and respiratory irritants in jet engine exhaust», *Aviation, Space and Environmental Medicine*, vol. 57, n° 11, pp. 1104-1108.
- National Fire Protection Association (NFPA), 1976: *Fire Protection Handbook*, 14<sup>e</sup> édition (Quincy, Massachusetts).
- National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), 1976: *Documented Personnel Exposures from Airport Baggage Inspection Systems*, DHHS (NIOSH) Publication 77-105 (Cincinnati, Ohio).
- . 1993a: *Health Hazard Evaluation: Big Bear Grocery Warehouse*, HETA 91-405-2340 (Cincinnati, Ohio).
- . 1993b: *Alert: Preventing Homicide in the Workplace*, DHHS (NIOSH) Publication 93-108 (Cincinnati, Ohio).
- . 1995: *Health Hazard Evaluation: Kroger Grocery Warehouse*, HETA 93-0920-2548 (Cincinnati, Ohio).
- Nicogossian, A.E., Huntoon, C.L. et Pool, S.L. (directeurs de publication), 1994: *Space Physiology and Medicine*, 3<sup>e</sup> édition (Philadelphie, Pennsylvanie, Lea and Febiger).
- Peters, B., Gustavsson, E., Morén, B., Nilsson L. et Wenäll, J., 1992: *Förarplats i Buss — Etapp 3: Kravspecifikation* (Linköping, Suède, Statens väg-och trafikinstitut).
- Poitrast, B.J. et deTreville, R.T.P., 1994: «Occupational medical considerations in the aviation industry», dans C. Zenz, O.B. Dickerson et E.P. Hovarth (directeurs de publication): *Occupational Medicine*, 3<sup>e</sup> édition (Saint Louis, Missouri, Mosby).
- Register, O., 1994: «Make Auto-ID work in your world», *Transportation and Distribution*, vol. 35, n° 10, pp. 102-112.
- Reimann, J., 1981: *Beanspruchung von Linienbusfahrern. Untersuchungen zur Beanspruchung von Linienbusfahrern im innerstädtischen Verkehr* (Bremerhaven, Wirtschaftsverlag NW).
- Rogers, J.W., 1980: *Results of FAA Cabin Ozone Monitoring Program in Commercial Aircraft in 1978 and 1979*, FAA-EE-80-10 (Washington, DC, Federal Aviation Administration (FAA), Office of Environment and Energy).
- Rose, R.M., Jenkins, C.D. et Hurst, M.W., 1978: *Air Traffic Controller Health Change Study* (Boston, Massachusetts, Boston University School of Medicine).
- Sampson, R.J., Farris, M.T. et Shrock, D.L., 1990: *Domestic Transportation: Practice, Theory, and Policy*, 6<sup>e</sup> édition (Boston, Massachusetts, Houghton Mifflin Company).
- Streekvervoer Nederland, 1991: *Chaufferscabine* (Amsterdam).
- United States Department of Transportation (USDOT), 1995: Senate Report 103-310, June (Washington, DC, GPO).
- United States Senate, 1970: *Air Traffic Controllers (Corson Report)*, Senate Report 91-1012, 91st Congress, 2<sup>e</sup> Session, July (Washington, DC, GPO).
- Verband Deutscher Verkehrsunternehmen, 1996: *Fahrerarbeitenplatz im Linienbus*, VDV Schrift 234 (Entwurf) (Cologne).
- Violland, M., 1996: «Whither railways?», *OECD Observer*, n° 198, p. 33.
- Wallentowitz, H., Marx, M., Luczak, F. et Scherff, J., 1996: *Forschungsprojekt. Fahrerarbeitenplatz im Linienbus — Abschlussbericht* (Aix-la-Chapelle, RWTH).
- Wu, Y.X., Liu, X.L., Wang, B.G. et Wang, X.Y., 1989: «Aircraft noise-induced temporary threshold shift», *Aviation Space and Medicine*, vol. 60, n° 3, pp. 268-270.

### Références complémentaires

- American Petroleum Institute (API), 1971: *Chemistry and Petroleum for Classroom Use in Chemistry Courses* (Washington, DC).
- . 1973: *Industrial Hygiene Monitoring Manual for Petroleum Refineries and Selected Petrochemical Operations* (Washington, DC).
- . 1980: *Facts about Oil* (Washington, DC).
- . 1984: *Safe Operation of Inland Bulk Plants* (Washington, DC).
- . 1984: *Service Station Safety* (Washington, DC).
- . 1988: *Design and Construction of LP Gas Installations* (Washington, DC).
- . 1995: *Overfill Protection for Storage Tanks in Petroleum Facilities*, Recommended Practice 2350 (Washington, DC).
- Armistead, G., Jr., 1950: *Safety in Petroleum Refining and Related Industries* (New York, John G. Simmons & Co.).
- Aschof, J., 1981: «Circadian rhythms: Interference with and dependence on work-rest schedules», dans L. Johnson (directeur de publication): *Biological Rhythms, Sleep and Shift Work* (New York, SP Medical and Scientific Books).

- Association of American Railroads, 1982: *Manual of Standards and Recommended Practices, Specifications for Tank Cars* (Washington, DC).
- Aumas, M. et Midol-Monnet, C., 2001: *Conduite en sécurité des chariots automoteurs de manutention à conducteur porté. Formation. Evaluation* (Paris, Institut national de recherche et de sécurité (INRS)).
- Aumas, M. et Schemm, G., 2001: *Les chariots automoteurs de manutention. Guide pour le choix et l'utilisation* (Paris, Institut national de recherche et de sécurité (INRS)).
- Benenson, A.S. (directeur de publication), 1995: *Control of Communicable Diseases Manual*, 16<sup>e</sup> édition (Washington, DC, American Public Health Association).
- Bertrand, A.R., 2000: *Transport maritime et pollution accidentelle par le pétrole* (Paris, Editions Technip).
- Bohets, W. et Delaruelle, D., 1996: *Ergonomie du chariot élévateur. Check-list pour le poste de conduite* (Bruxelles, Institut national de recherche sur les conditions de travail (INRCT)).
- Bowers, D.G., 1983: «What would make 11,500 people quit their jobs?», *Organizational Dynamics*, pp. 5-19.
- Bureau international du Travail (BIT), 1977: *La sécurité et l'hygiène du travail dans l'aviation civile, Rapport II, Réunion spéciale de l'aviation civile* (Genève).
- . 1985: *Conventions et recommandations internationales du travail 1919-1995* (avec suppléments 1985-2000) (Genève).
- . 1993: «Workers' Privacy, Part II: Monitoring and Surveillance in the Workplace», *Conditions of Work Digest*, vol. 12 (Genève).
- Chevron Corporation, 1983: *It's Chevron Safety Time* (San Francisco, Californie).
- Costa, G., 1992: «A seven-point programme to reduce stress in air traffic controllers in Italy», dans *Preventing Stress at Work. Conditions of Work Digest*, vol. 11 (Genève, BIT).
- Davis, R.G., 1987: «Providing effective warehouse lighting», *Plant Engineering*, vol. 41, pp. 88-90.
- D'Hertefeldt, H., Bentein, K. et Wilcox, M., «Conception d'un nouveau poste de conduite de tramway», dans *Le corps au travail. Pratiques ergonomiques dans l'entreprise* (Bruxelles, Institut national de recherche sur les conditions de travail (INRCT)).
- Exxon Company, 1987: *Encyclopedia for the User of Petroleum Products* (Houston, Texas).
- Gazzetta ufficiale della Repubblica italiana*, 1974: «Legge 26 aprile 1974, n. 191 — Prevenzione degli infortuni sul lavoro nei servizi e negli impianti gestiti dall'Azienda autonoma delle ferrovie dello Stato», vol. 115, n° 134, pp. 3571-3575.
- Gentry, J.J., Semeijn, J. et Vellenga, D.B., 1995: «The future of road haulage in the new European Union — 1995 and beyond», *Logistics and Transportation Review*, vol. 31, n° 2, p. 149.
- Graeber, R.C., 1988: «Aircrew fatigue and circadian rhythmicity», dans Weiner et Nagel (directeurs de publication): *Human Factors in Aviation* (San Diego, Californie, Academic Press).
- Gulf Publishing Company, 1964: *Petroleum Marketing and Transportation* (Houston, Texas).
- Hakkola, M., 1994: «Neuropsychological symptoms among tanker drivers with exposure to solvents», *Occupational Medicine*, vol. 44, n° 5, pp. 243-246.
- Hertz, R.P., 1988: «Tractor-trailer driver fatality and the role of nonconsecutive rest in a sleeper berth», *Accident Analysis and Prevention*, vol. 20, n° 6, pp. 431-439.
- Illuminating Engineering Society of North America, 1991: *American National Standard Practice for Industrial Lighting* (New York).
- Institut national de recherche et de sécurité (INRS), 1997: *Les chariots automoteurs de manutention* (Paris).
- . 2000: «Passage des charges palettisées. Contrôle de l'accès de personnes», *Fiche pratique de sécurité, ED 90* (Paris).

- Landsbergis, P.A., 1986: «Is air traffic control a stressful occupation?», *Labor Studies Journal*, vol. 11, pp. 117-134.
- Larané, A., 1998: «Enquête. La recherche se penche sur le diesel», *Travail et sécurité*, n° 579, déc.
- Ligue contre le cancer, 2001: *Cancers d'origine professionnelle. Les repérer, les déclarer, les faire reconnaître, les faire indemniser* (Paris, ministère de l'Emploi et de la Solidarité).
- Lund, J., 1991: «Computerised work performance monitoring and production standards: A review of labour law issues», *Labor Law Journal*, vol. 42, n° 4, pp. 195-202.
- Marine Safety Agency, 1995: *Merchant Shipping Notice No. M.1607: The Merchant Shipping and Fishing Vessel (Medical Stores) Regulations 1995*, SI 1995 No. 1802 (Southampton, Royaume-Uni, Department of Transport).
- Mobil Oil Corporation, 1972: *Light Products Refining, Fuels Manufacture*, Mobil Technical Bulletin (Fairfax, Virginie).
- , 1974: *The Language of Oil* (Fairfax, Virginie).
- , 1990: *Handling, Storing and Dispensing Industrial Lubricants*, Mobil Technical Bulletin (Fairfax, Virginie).
- , 1992: *LPG Manual* (Fairfax, Virginie).
- National Fire Protection Association (NFPA), 1992: *National Fuel Gas Code*, NFPA 54 (Quincy, Massachusetts).
- , 1992: *Liquefied Petroleum Gases Handbook* (Quincy, Massachusetts).
- , 1993: *Automotive and Marine Service Station Code*, NFPA 30A (Quincy, Massachusetts).
- , 1993: *Flammable and Combustible Liquids Code*, NFPA 30 (Quincy, Massachusetts).
- , 1994: *Liquefied Natural Gas (LNG)*, NFPA 59A (Quincy, Massachusetts).
- , 1995: *Storage and Handling of Liquefied Petroleum Gases*, NFPA 58 (Quincy, Massachusetts).
- National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), 1975: *Health and Safety Guide for Service Stations* (Cincinnati, Ohio).
- , 1994: *Applications Manual for the Revised NIOSH Lifting Equation*, NIOSH Publication 94-110 (Cincinnati, Ohio).
- , 1994: *Workplace Use of Back Belts: Review and Recommendations* (Cincinnati, Ohio).
- National L-P Gas Association, 1968: *L-P Gas Safety Handbook* (Chicago, Illinois).
- National Research Council, 1986: *The Airliner Cabin Environment: Air Quality and Safety* (Washington, DC, Committee on Airliner Cabin Air Quality, Board on Environmental Studies and Toxicology, Commission on Life Sciences, National Research Council, National Academy Press).
- National Safety Council, 1978: *Service Sense: A Guide to Safety around the Automotive Shop* (Itasca, Illinois).
- , 1988: «Motorized equipments», *Accident Prevention Manual for Industrial Operations: Administration and Programs*, 9<sup>e</sup> édition (Itasca, Illinois).
- , 1988: *Aviation Ground Operation Safety Handbook*, 4<sup>e</sup> édition (Chicago, Illinois).
- , 1995: *Petroleum Section Safety and Health Fact Sheets: Service Station Safety Series, 1988-1995* (Itasca, Illinois).
- Organisation internationale de normalisation (ISO), 1999: *Spécifications ergonomiques pour la conception des dispositifs de signalisation et des organes de services — Partie 1: Interactions entre l'homme et les dispositifs de signalisation et organes de services*, ISO 9355-1 (Genève).
- , 1999: *ibid., Partie 2: Dispositifs de signalisation*, ISO 9355-2 (Genève).
- Ribak, J., Rayman, R.B. et Froom, P. (directeurs de publication), 1995: *Occupational Health in Aviation: Maintenance and Support Personnel* (San Diego, Californie, Academic Press).
- Rosa, R.R. et Bonnet, M.H., 1993: «Performance and alertness on 8 h and 12 h rotating shifts at a natural gas utility», *Ergonomics*, vol. 36, n° 10, pp. 1177-1193.
- Rosa, R.R., Bonnet, M.H., Bootzin, R.R., Eastman, C.L., Monk, T., Penn, P.E., Tepas, D.I. et Walsh, J.K., 1990: «Intervention factors for promoting adjustment to nightwork and shiftwork», *Occupational Medicine: State of the Art Reviews*, vol. 5, n° 2, pp. 391-414.
- Schroeder, D.J., Rosa, R.R. et Witt, L.A.: *Effects of 8- vs. 1-hour Work Schedules on the Performance/alertness of Air Traffic Control Specialists* (Oklahoma City, Oklahoma, Civil Aeromedical Institute).
- Shostak, A.B. et Skocik, D., 1986: *The Air Controllers Controversy* (New York, Human Sciences Press).
- Transport and General Workers Union, 1993: *Good Bus Cab Design*, Code of Practice (Londres).
- United States Coast Guard, 1992: *Recommended Program for Protection of Merchant Mariners from Occupational Health Problems*, Navigation and Vessel Inspection Circular No. 3-92, COMDT PUB P6700.4 (Washington, DC).
- , 1994: *International Safety Management Code for the Safe Operations of Ships and for Pollution Prevention*, Navigation and Vessel Inspection Circular No. 2-94 (Washington, DC).
- , 1996: *Marine Safety Manual*, COMDTINST M16465.6 (Washington, DC, US Department of Transportation (USDOT)).
- United States Department of Transportation (USDOT), 1994: *Hazardous Materials Air Incidents by Date (January 1, 1992 to December 31, 1993)* (Washington, DC, Hazardous Materials Safety, Hazardous Materials Information System).
- , 1996: *Hazardous Materials Regulations*, 49 CFR 171-177 (Washington, DC).
- United States Public Health Service, 1996: *Ship's Medicine Chest and Medical Aid at Sea* (Washington, DC, Department of Health and Human Services).
- Witt, C.E., 1992: «Warehouse lighting brightens path to productivity», *Material Handling Engineering*, vol. 47, pp. 65-66.