



Éléments d'accidentologie sur les équipements sous pression

Décembre 2015



Sommaire

Introduction	2
Périmètre de l'étude	2
Activités concernées	3
Équipements impliqués	4
Régime réglementaire	4
Répartition par type d'équipements	4
Caractéristiques générales	6
Pression	6
Volume	6
Dimension nominale des tuyauteries	6
Année de construction et âge des équipements	7
Fluides impliqués	7
Accessoires	9
Typologies des accidents	10
Conséquences	11
Causes	12
Causes premières (perturbations)	12
Causes profondes	13
Mesures prises à la suite des accidents	15
Mesures relatives à l'exploitation des équipements sous pression	15
Mesures concernant les périodes d'arrêt des équipements sous pression	15



La présente analyse a été réalisée à partir d'une sélection de 247 événements français suffisamment renseignés de la base ARIA. Elle couvre une période allant du 01/01/2010¹ au 31/12/2014. Les événements survenus durant la période d'étude sont vraisemblablement plus nombreux. La différence s'explique par le fait que :

- les informations sur les accidents proviennent essentiellement des DREAL ou de la presse
- le BARPI n'est pas informé systématiquement des événements survenus dans les établissements disposant d'un Service d'Inspection Reconnu (SIR) type raffinerie ou centrale nucléaire
- les informations transmises par un inspecteur équipement sous pression ou par un inspecteur des installations classées sont plus ou moins précises, chacun regardant l'accident à travers son propre référentiel réglementaire

Eu égard à ces réserves, les chiffres qui suivent ne sont que des tendances sur les événements recensés dans la base de données ARIA au cours des 5 dernières années.

1. Périmètre de l'étude

Compte tenu du grand nombre d'accidents impliquant des équipements sous pression dans ARIA, les critères suivants ont été appliqués pour ajuster l'échantillon d'étude à des événements suffisamment intéressants pour effectuer du retour d'expérience. La méthode utilisée consiste ainsi à exclure les événements relatifs à/aux :

- l'utilisation domestique du gaz (bouteille de gaz, réseau de distribution de gaz)
- accidents de la circulation ferroviaire ou routière (déraillement de wagon citerne ou sortie de route de camion-citerne de gaz sous pression)
- l'explosion d'équipements en cas d'incendie (par exemple bouteilles de gaz prises dans un incendie)

La répartition des événements (nombre du bas) par année est ainsi la suivante :



¹ date d'entrée en application de la circulaire BSEI n°09-242 du 31 décembre 2009

2. Activités concernées

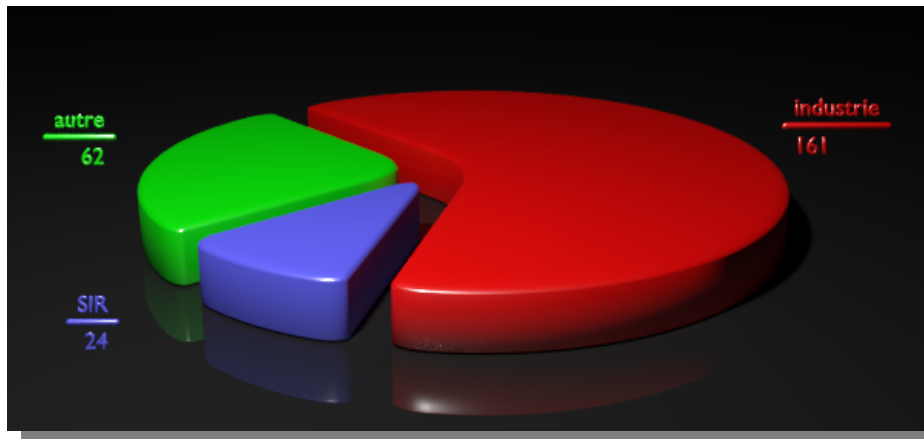
Les équipements sous pression sont présents partout dans notre quotidien : extincteurs, réservoirs de GPL, bouteilles d'oxygène. Pour clarifier et simplifier l'analyse, les événements sont ainsi classés en 3 catégories suivant qu'ils se sont déroulés dans :

- l'industrie
- une usine disposant d'un Service Inspection Reconnu (SIR)

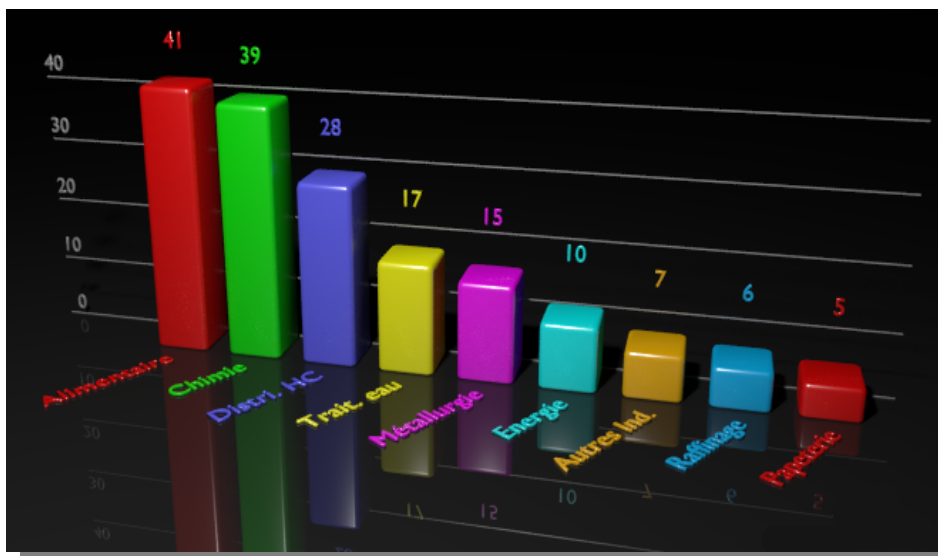
Une catégorie "autre" a été créée afin de regrouper les événements qui se sont produits :

- chez des particuliers ou dans des immeubles de bureaux (groupe froid des systèmes de climatisation)
- sur des chantiers hors industrie
- dans des Établissements Recevant du Public (ERP) types hôpitaux, collèges, lycées...
- dans des lieux inconnus ou sans aucune information précise (bouteilles de gaz abandonnées par exemple)
- site militaire

En fonction de cette classification, nous obtenons la répartition suivante :



Les principaux secteurs industriels rencontrés sont :

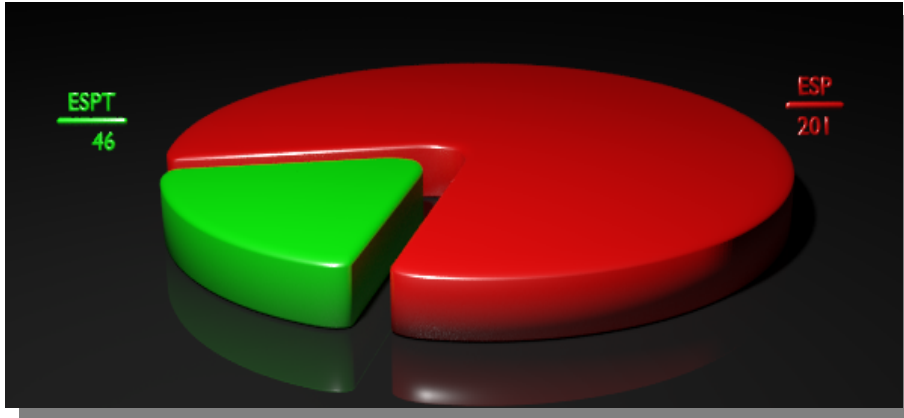


Nombre d'événements en fonction du secteur d'activité [Distri HC = Distribution d'hydrocarbures : stations services ou centre de remplissage de GPL, Trait. eau = traitement de l'eau, Autres Ind. = Autres industries, l'alimentaire comprend l'agroalimentaire]

3. Équipements impliqués

a) Régime réglementaire

Au niveau réglementaire, les appareils sous pression peuvent relever de la réglementation des équipements sous pression (ESP), ou de la réglementation des équipements sous pression transportables (ESPT). Le classement des événements suivant ces régimes réglementaires permet de souligner la prépondérance des équipements sous pression dans l'échantillon :



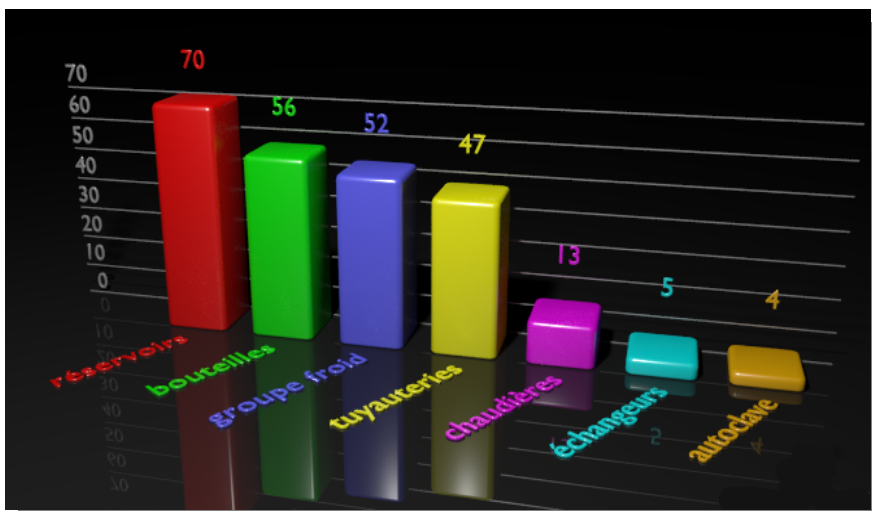
La sous représentation des ESPT s'explique par le retrait des événements liés à l'utilisation domestique du gaz. De nombreuses bouteilles de GPL (classées ESPT) sont à l'origine d'accidents mortels chaque année (confer synthèse sur les éléments d'accidentologie sur l'utilisation domestique du gaz).

Les ESPT rencontrés dans l'échantillon sont majoritairement des bouteilles contenant différents gaz industriels (hydrogène, acétylène, chlore dans les usines de traitement d'eau ou les piscines).

b) Répartition par types d'équipements

Afin de simplifier l'analyse des équipements et de coller au plus près aux différentes catégories d'équipements mentionnés dans la réglementation, les appareils sont classés en 7 catégories :

- les réservoirs qui comprennent les cuves, les sphères et autres capacités de stockage
- les bouteilles de gaz
- les groupes froid
- les échangeurs
- les générateurs de vapeur ou chaudières
- les autoclaves
- les tuyauteries d'usine



La répartition du nombre d'accidents peut être ajustée en fonction du secteur industriel et du type de secteur d'activité afin de faire apparaître des accidentologies spécifiques :

	Tuyauteries	Réservoirs	Groupe froid	Générateur de vapeur	Échangeurs	Bouteilles	Autoclave
Aéronautique						1	
Agriculture		3			1	1	
Alimentaire	1	3	35			1	1
BTP		1				3	
Construction électrique						1	
Distribution hydrocarbures	6	21				1	
Énergie (hors nucléaire)	2	1		2			
Grande distribution			2				
Papeterie	1			4			
Raffinage	3	1		1	1		
Sidérurgie / Chaudronnerie	8	5		1		1	
Traitement de l'eau	3	1				13	
Chimie	14	7	2	4	3	6	3
Automobile		1				3	
Industrie diverse	3	1				3	
Nucléaire	2		3				

Ainsi, nous pouvons constater que :

- l'industrie alimentaire est plus fréquemment impactée par un problème de fuite de réfrigérant sur des installations frigorifiques. Ces fuites peuvent s'avérer dangereuses en fonction du réfrigérant (ammoniac). Ces installations bénéficient par ailleurs de régimes réglementaires dérogatoires par rapport à la réglementation classique sous réserve de contraintes constructives spécifiques (ancienne DMTP ou cahier technique professionnel).
- de nombreux rejets surviennent au niveau des citernes de GPL dans la distribution d'hydrocarbures (stations services), notamment en raison de mauvais couples de serrage au niveau des brides emboîtant les joints
- les centres de traitement de l'eau (station urbaine de potabilisation de l'eau, piscine) sont très concernés par des problématiques de fuites sur des bouteilles de chlore
- enfin, de nombreuses fuites se sont produites sur des tuyauteries d'usine dans la chimie.

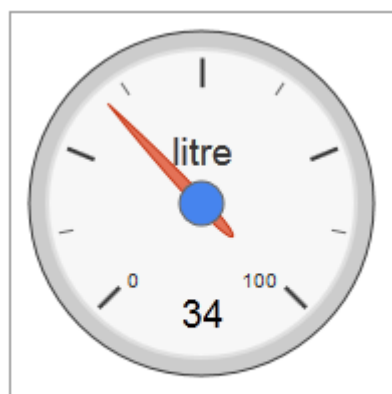
c) Caractéristiques générales

1. Pression

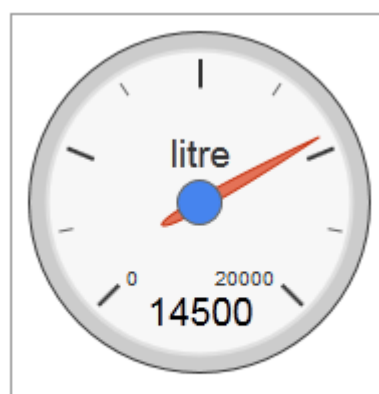
Types d'équipements	Nb d'événements où la pression interne de l'équipement est connue	Pression moyenne (en bar)
autoclave	0	-
bouteilles	6	110
échangeurs	2	52
générateur de vapeur	4	49
groupe froid	0	-
réservoirs	12	58
tuyauteries	21	42

2. Volume

Types d'équipements	Nb d'événements où le volume est connu	Volume moyen (en litres)
bouteilles	11	34
réservoirs	27	14500



Volume moyen des bouteilles



Volume moyen des réservoirs

3. Dimension nominale des tuyauteries

Types d'équipements	Nb d'événements où la DN est connue	DN moyenne
tuyauteries	6	240

Les Dimensions Nominales (dénommées DN) sont des unités de mesures utilisées pour les éléments de canalisations. La dimension nominale est exprimée en mm et correspond à la **largeur utile intérieure** d'un tuyau.

4. Année de construction et âge des équipements

Age de l'équipement au moment de l'accident / année de construction	0	4	6	8	12	14	17	18	19	22	27	28	32	36	39	40	41	Total
1970																1	1	2
1973															1			1
1974														1				1
1978												1						1
1986												1						1
1987											1							1
1988										1								1
1992									1									1
1993								1										1
1994									1									1
1995									1									1
1999					1	1												2
2002					1													1
2004				1														1
2005			1															1
2009		1																1
2010	1																	1
2012	1																	1
Total	2	1	1	1	2	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	20
Cumul du total	3	4	5	7	8	9	10		12	13	14	15	16	17	18	19	20	
Age Moyen	20 ans																	

Les accidents concernent aussi bien des équipements récents (moins de 10 ans de service) ou neufs que des équipements plus anciens.

L'âge moyen des équipements à l'origine des événements est de 20 ans, l'âge médian est égal à 18 ans.

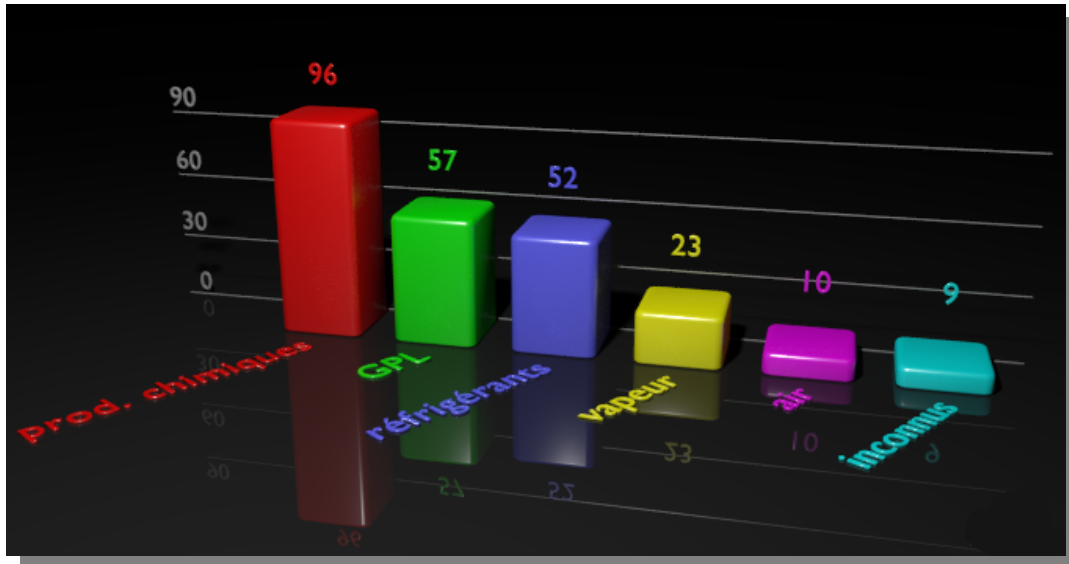
La vétusté des installations n'est explicitement mentionnée comme cause de l'accident que dans un seul résumé (ARIA 42650).

5. Fluides impliqués

Les principaux fluides contenus dans les équipements sont :

- des produits chimiques divers sous forme gazeuse (acétylène, hydrogène, chlore, azote, oxygène...)
- des GPL
- des gaz réfrigérants dans les installations frigorifiques
- de la vapeur
- ou tout simplement de l'air comprimé

Une catégorie de produits inconnus a été créée afin de répertorier les cas pour lesquels l'identification du fluide est compliquée ou n'a pas été communiquée au BARPI.



Répartition des événements en fonction du fluide contenu dans l'équipement

Le classement des équipements en fonction des fluides contenus est le suivant :

	air	GPL	inconnus	produits chimiques	réfrigérants	vapeur
autoclave				2		2
bouteilles	2	7	1	46		
échangeurs		1		3		1
générateur de vapeur						10
groupe froid					52	
réservoirs	3	41	2	24		
tuyauteries	4	8	5	20		10

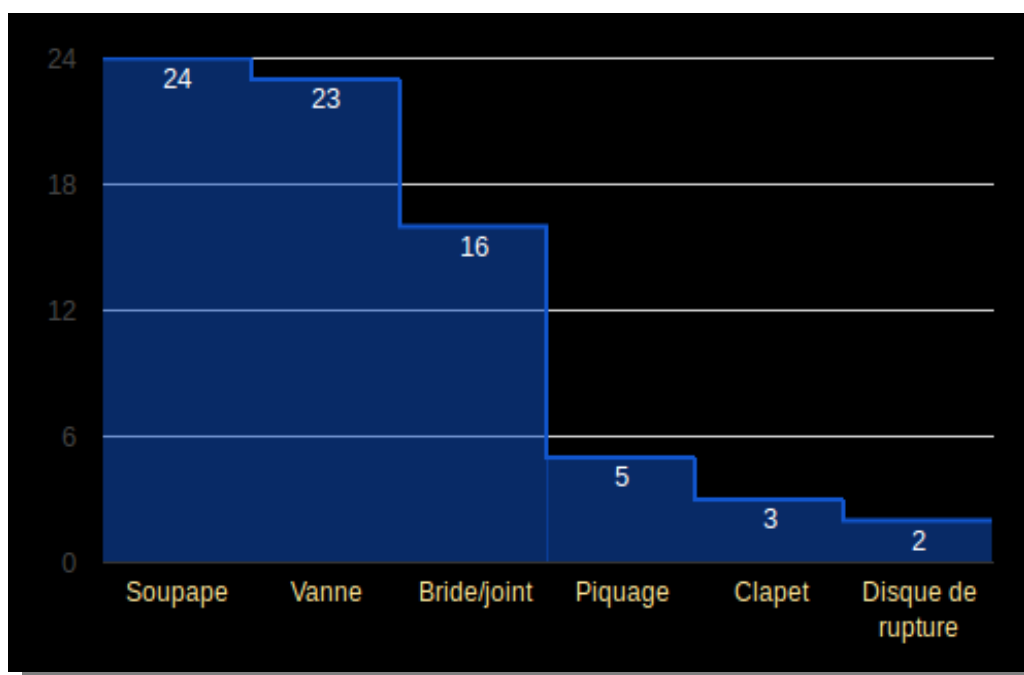
Nombre d'événements en fonction du fluide et de l'équipement concerné.

6. Accessoires

Les accessoires sont à l'origine de fuites notamment en cas :

- de dysfonctionnement des soupapes
- de mauvaise étanchéité au niveau des vannes
- de mauvais couple de serrage/au niveau des joints de brides
- de problème au niveau des piquages
- de dysfonctionnement de clapet
- d'éclatement de disque de rupture en phase d'exploitation

Les événements se répartissent ainsi lorsque l'accessoire est connu :



4. Typologies des accidents

Les principaux phénomènes dangereux rencontrés dans les accidents sont précisés dans le tableau ci-dessous :

Phénomènes dangereux	Nb événements	%(sur la base des 247 événements)
Explosion	20	8
Fuite enflammée	16	6
Projection d'accessoires sous l'effet de la pression	7	3
Rejet de matières dangereuse ou polluante	197	80

Les rejets de matières dangereuses ou polluantes combinés avec l'inflammation du gaz inflammable ou l'explosion de celui-ci, si ce dernier est en contact avec une source de chaleur, constituent les principaux phénomènes dangereux rencontrés.

Les cas de rejets de matières dangereuses ou polluantes concernent :

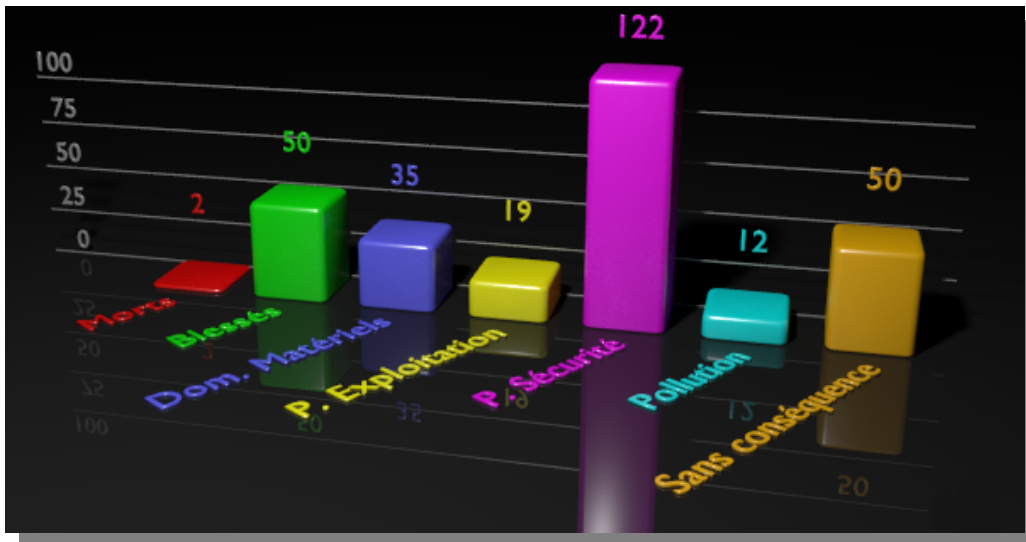
- des lâchers de soupapes sur des stockages de GPL
- des fuites au niveau des brides ou des joints de brides
- des piquages sur des équipements (endommagement en cas de choc, corrosion)
- des fuites au niveau de l'instrumentation des équipements (pressostat, manomètre)
- des rejets au niveau des vannes, ou de dispositifs de purge

Les fuites s'enflamment dans 6 % des cas en fonction du gaz contenu dans l'équipement et impliquent majoritairement des bouteilles d'acétylène.

Les explosions sont relatives à :

- des éclatements de bouteilles de gaz d'acétylène ou de GPL
- des ruptures d'équipements (tuyauteries : ARIA 41142, 42479, 44448, climatiseur thermique : ARIA 41289, autoclave : ARIA 40935...)

5. Conséquences



Répartition des conséquences en fonction du nombre d'événements
[Légende : Dom. Matériels = Dommage Matériels ; P. Exploitation = Perte d'exploitation ;
P. Sécurité = Périmètre de sécurité]

Deux cas mortels (ARIA 41954 et 44156) sont recensés dans l'échantillon d'étude. Ils ont la particularité de s'être produits lors d'essais pneumatiques d'appareils sous pression.

Des personnes ont été blessées dans 50 événements. Différents cas de blessures sont rencontrés, cela concerne aussi bien :

- les personnes intoxiquées ou incommodées par les gaz qui s'échappent des capacités
- les opérateurs choqués par les effets de l'explosion
- les blessures physiques (y compris acouphène, choc créé par la projection d'un composant notamment lors des essais pneumatiques ou hydrauliques)

Les essais pneumatiques ou hydrauliques (ARIA 44156), s'ils sont menés dans de mauvaises conditions, sont souvent à l'origine de blessés (confer flash ARIA sur les tests d'équipements sous pression du mois d'août 2013).

La mise en place d'un périmètre de sécurité se matérialise souvent par :

- la mise en sécurité des installations de l'usine où s'est produit l'accident
- le déclenchement du POI pour les établissements Seveso
- l'évacuation de riverains ou des entreprises voisines du site
- l'interruption de la circulation routière ou ferroviaire

Les dommages matériels concernent aussi bien l'endommagement du matériel interne à l'usine (rupture de canalisations) que des endommagements causés à des tiers (bris de vitres sur les maisons de riverains dans ARIA 42421). Les pertes d'exploitation peuvent s'élever à plusieurs millions d'euros en cas d'accident (ARIA 44683).

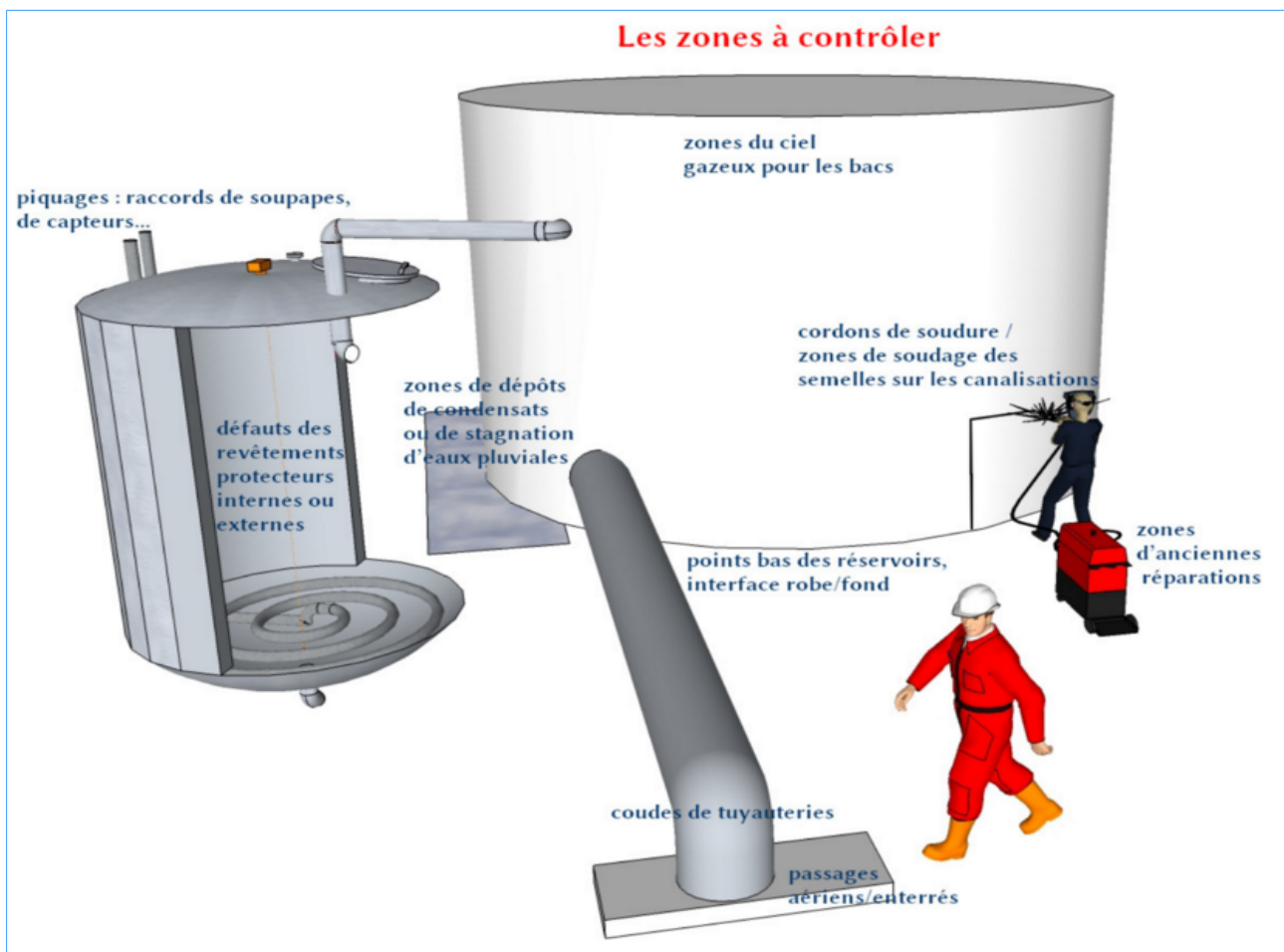
Les conséquences environnementales se traduisent par des pollutions des eaux de surface ou de l'atmosphère (torchage des résidus de process générant des fumées noires : ARIA 43489).

Même si certains événements n'ont pas donné lieu à des conséquences environnementales ou humaines, les industriels ont dû réaliser des communiqués de presse afin de rassurer les populations riveraines (ARIA 42910).

6. Causes

a) Causes premières (perturbations)

Elles sont constituées très logiquement par des défauts matériels qui se matérialisent par des fuites ou des ruptures d'équipements. Les cas de fuites ou de ruptures sont dus à des phénomènes de corrosion dans plus de 10 % des événements (31 cas dénombrés) ou à des problèmes de fatigue (ARIA 38751, 39526, 44430). Ces perturbations sont d'autant plus amplifiées que l'équipement est ancien (ARIA 42897). Pour mémoire, dans l'étude rédigée par le BARPI en 2014 sur les accidents liés à la corrosion, les zones mentionnées dans le schéma suivant avaient été repérées comme très accidentogènes. Les constats émis lors de cette précédente étude sont adaptés au cas particulier des ESP.



Des anomalies mettant en cause la conception des équipements sont parfois soulignées dans les résumés d'accidents (ARIA 43587).

Au-delà des défaillances matérielles, des défaillances humaines sont à l'origine d'accident :

- travaux sur des équipements non dépressurisés et non consultation de la documentation technique de l'équipement avant intervention (ARIA 42946)
- endommagement par un cariste d'une tuyauterie d'usine (ARIA 44142, 44448)
- mauvais serrage de la boulonnerie entraînant des fuites au niveau des joints de brides (ARIA 44911, problèmes sur les réservoirs GPL : ARIA 45310, 45352, 45476...)
- erreur de pression de tarage des soupapes (ARIA 45670)

Des défauts de maîtrise de procédé sont également à l'origine d'emballement de réaction et se matérialisent par des surpressions ou des réactions exothermiques (ARIA 40328). Ils sont parfois liés à des surremplissages de capacités de stockage (GPL ARIA 44381), ou à des mauvais réglages des équipements (excès de combustible : ARIA 43695). Un cas de remontée de réactifs dans le cadre d'un process industriel est également à l'origine d'une surpression (ARIA 45637).

b) causes profondes

Plusieurs types de causes sont responsables des perturbations ou causes premières des accidents. Elles relèvent le plus souvent d'aspect organisationnel dans l'exploitation du site ou d'ordre technique dans la conception des installations.

Parmi les problèmes organisationnels nous trouvons **l'absence de**:

- **suivi en exploitation des équipements sous pression** et la non réalisation des contrôles prévus par la réglementation (ARIA 39526, 43587, 46114). Dans un événement l'appareil impliqué était dépourvu de marquage réglementaire (marquage CE : ARIA 41289)
Remarque : l'absence de suivi en exploitation peut concerner des équipements qui ne sont pas sous pression mais qui en cas de dysfonctionnement génèrent des problèmes sur les réseaux sous pression (par exemple : problème de courroie sur le moteur d'un compresseur qui a créé une surpression dans une installation frigorifique : ARIA 44610)
- **formation des opérateurs aux risques liés aux équipements sous pression et à la conduite des installations** (vanne de purge laissée ouverte : ARIA 42629 / absence de formation des opérateurs et d'actualisation de consignes : ARIA 42798 / oubli de vérifier si les circuits sont encore sous pression : ARIA 43587 / problème lors d'une intervention sur des accumulateurs dans une éolienne : ARIA 44150 / absence d'affichage des consignes pour l'utilisation des appareils à pression : ARIA 43587)
- **planification des opérations de maintenance du matériel** (ARIA 42798) **ou d'entretien** (encrassement des tubes de chauffe d'une chaudière : ARIA 42907 / non entretien des raccords de bouteilles sur une installation de chloration de l'eau : ARIA 43434 / vanne de sectionnement recouverte de glace sur un circuit frigorifique : ARIA 45008)
Remarque: Des accidents, parfois mortels et bien souvent avec des blessés, ont eu lieu durant des essais pneumatiques ou hydrauliques insuffisamment préparés. Ils résultent pour la plupart de mauvaises pratiques (épreuve sans détendeur de gaz : ARIA 45293)
- **traçabilité des zones réparées de façon temporaire** (boîte de colmatage : ARIA 44848)
- **analyse de risques dans la conduite des installations** (différence entre conduite manuelle et automatique des installations : ARIA 43695)
- **gestion de la sous traitance** (contrôle des équipements notamment avant leur remise en service, passage des consignes concernant les couples de serrage de la boulonnerie : ARIA 44911 / contrôle des pressions de tarage des soupapes : ARIA 45670)
- **prise en compte des problématiques « NaTech »** (période de gel des installations : ARIA 45750 / bourrasque de vent : ARIA 45851)

Les problèmes techniques dans la conception des installations concernent :

- l'agencement des lignes dans l'unité (accessibilité pour réaliser les contrôles et l'entretien des équipements, nombre de tuyauteries dans les racks calorifugés : ARIA 42835 / corrosion externe provoquée par une fuite sur le traçage vapeur d'une ligne située juste au-dessus : ARIA 45765)
- l'absence de lyres de supportage pour les tuyauteries d'usine (ARIA 42897)
- les mauvais choix de capteurs de pression ou de jauges de niveau (ARIA 42864)
- l'absence d'analyse des phénomènes liés à la dilatation eu égard à la température des fluides (ARIA 42897)
- la non installation de détecteurs de gaz (ARIA 45750, 46582)

Au-delà de ces causes propres à la défaillance d'un équipement sous pression, il convient de garder à l'esprit que les opérateurs doivent pouvoir intervenir dans de bonnes conditions en cas de fuite. Des récits relatent en effet l'inadéquation des modes opératoires en cas de rejet gazeux (difficultés à accéder aux vannes de sectionnement emprisonnées dans la glace, équipements de protection non adaptés : ARIA 45008).



7. Mesures prises à la suite des accidents

Un équipement sous pression est aussi dangereux en exploitation qu'à l'arrêt, notamment lors des phases de travaux, de maintenance ou d'entretien. C'est pourquoi les mesures prises par les exploitants portent aussi bien sur les phases d'exploitation que sur les phases de travaux (arrêt, préparation des requalifications périodiques, etc).

a) Mesures relatives à l'exploitation des équipements sous pression

Les principales dispositions prises suite à un accident sont les suivantes :

- la révision des procédures d'utilisation du matériel (ARIA 43587, 43728)
- l'affichage des consignes de sécurité (ARIA 43587)
- la formation du personnel au risque pression (ARIA 43587)
- le nettoyage régulier des appareils afin d'éviter leur encrassement (ARIA 43587)
- la mise à jour des plans et des contrats de maintenance (ARIA 43587, 45008, 45199), la modification du matériel et des installations pour faciliter les opérations de maintenance (ARIA 44150)
- l'uniformisation du repérage de toutes les tuyauteries du site (ARIA 44448)
- l'installation d'un dispositif qui enregistre la pression en continu (ARIA 45061)
- la modification de la programmation des automates qui pilotent les chaînes de sécurité (ARIA 45637), les dispositifs contrôlant la pression sont également recalibrés et mieux ajustés pour détecter les surpressions
- l'amélioration des accès aux installations (ARIA 42835)
- des contrôles vibratoires des machines pour limiter les phénomènes de fatigue (ARIA 38751)
- la modification des procédures concernant le démarrage de l'équipement pour limiter les contraintes (phénomène de fatigue : ARIA 39526) et de contrôle du serrage à chaud et à froid des joints (ARIA 39816)

Par ailleurs, après un accident, les mesures ci-après sont souvent appliquées :

- révision des plans d'inspection des équipements par le SIR (renforcement de la périodicité des contrôles : ARIA 44683)
- contrôle de l'ensemble des équipements similaires à celui qui a été à l'origine de l'accident (ARIA 44829)
- limiter les taux de remplissage des réservoirs, notamment en cas de fortes chaleurs (ARIA 45632) ou prévoir des modalités particulières d'exploitation en périodes de grands froids (ARIA 41945)
- contrôle des filetages des composants (ARIA 46047)

En complément des mesures concernant l'exploitation et la maintenance des équipements, nous trouvons aussi des modifications plus profondes touchant les technologies utilisées dans le cadre des procédés industriels, en particulier avec les fluides frigorigènes (changement de réfrigérant de l'ammoniac pour un fluide chloro-fluoré : ARIA 41479).

b) Mesures concernant les périodes d'arrêt des équipements sous pression

Les mesures prises par les exploitants à la suite des accidents visent aussi à mieux encadrer les phases de travaux sur les équipements :

- rédaction d'un cahier des charges pour les travaux (ARIA 42835)
- contrôle visuel lors de la pose des calorifuges (ARIA 42835).

ACCIDENTS TECHNOLOGIQUES EN LIGNE

Sécurité et transparence sont deux exigences légitimes de notre société. Aussi, depuis juin 2001 le site www.aria.developpement-durable.gouv.fr du Ministère de l'écologie, du développement durable et de de l'énergie, propose-t-il aux professionnels et au public des enseignements tirés de l'analyse d'accidents technologiques. Les principales rubriques du site sont présentées en français et en anglais.

Sous les rubriques générales, l'internaute peut, par exemple, s'informer sur l'action de l'Etat, disposer de larges extraits de la base de données ARIA, découvrir la présentation de l'échelle européenne des accidents, prendre connaissance de l'indice relatif aux matières dangereuses relâchées pour compléter la « communication à chaud » en cas d'accident ou d'incident.

La description des accidents, matière première de toute démarche de retour d'expérience, constitue une part importante des ressources du site : déroulement de l'événement, conséquences, origines, circonstances, causes avérées ou présumées, suites données et enseignements tirés.

Une centaine de fiches techniques détaillées et illustrées présente des accidents sélectionnés pour l'intérêt particulier de leurs enseignements. De nombreuses analyses par thème ou par secteur industriel sont également disponibles. La rubrique consacrée aux recommandations techniques développe différents thèmes : chimie fine, pyrotechnie, traitement de surface, silos, dépôts de pneumatiques, permis de feu, traitement des déchets, manutention...

Une recherche multicritères permet d'accéder à l'information sur des accidents survenus en France ou à l'étranger.

Le site www.aria.developpement-durable.gouv.fr s'enrichit continuellement. Actuellement, près de 47 000 accidents sont en ligne et de nouvelles analyses thématiques verront régulièrement le jour.

Les résumés des évènements présentés sont disponibles sur le site :

www.aria.developpement-durable.gouv.fr

Bureau d'analyse des risques et pollutions industriels
5 place Jules Ferry
69006 Lyon
Téléphone : 04 26 28 62 00

Service des risques technologiques
Direction générale de la Prévention des risques
Ministère de l'Ecologie, du développement
Durable et de l'Énergie
Tour Sequoia
92055 La Défense cedex
Téléphone : 01 40 81 21 22

Coordination :
Annie NORMAND, Christian VEIDIG
Rédaction, conception, réalisation, infographie :
Jean-Francois MICHEL
Crédits photos : DREAL ALSACE

