



Explosion eau / métal en fusion



⑤ Explosion dans une fonderie de fonte

ARIA 31881 - 15/05/2006 - 08 - VIVIER-AU-COURT

24.51 - Fonderie de fonte

	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Dans une fonderie de fonte utilisant 2 cubilots en alternance 1 jour sur 2, une explosion se produit à 18h30 lors du défournement, par les trappes situées en partie inférieure du four, des produits de fin de fusion dans une benne. Du coke, de la fonte et du laitier sont projetés dans le bâtiment et 30 m² de toiture sont détruits. Les secours publics sont alertés et le personnel de l'entreprise est évacué. Posté à 10 m du cubilot avec une lance à eau à fort débit pour arrosé ces produits en cas de départ de feu, un employé est brûlé au visage et aux bras et hospitalisé durant 4 jours ; un second salarié en état de choc est soigné par les pompiers. Selon l'exploitant, une réaction eau/métal en fusion serait à l'origine de l'accident. En effet, le ciment réfractaire recouvrant la benne de récupération avait été mis en place le matin même et la durée de séchage aurait été insuffisante. Le coût des dommages matériels est estimé à 10 000 euros. Plusieurs mesures techniques et organisationnelles sont prises pour limiter le risque de renouvellement d'un tel accident : acquisition de 3 bennes afin d'assurer un meilleur roulement et un temps de séchage suffisant du ciment réfractaire (36 h), stockage de ces capacités à l'abri de l'eau, séchage de la benne destinée au défournement du jour avec un brûleur à gaz, mise en place d'une alarme sonore destinée à prévenir le personnel pendant la durée de l'opération, actualisation de la liste des équipements de protection individuelle (par métier ou poste de travail), matérialisation d'une zone de protection et désignation d'un responsable de défournement, révision de la procédure.

Explosion eau / métal en fusion

Les explosions à la suite d'un contact eau / métal en fusion sont des accidents bien connus dans l'industrie métallurgique qui entraînent parfois des conséquences humaines et matérielles importantes. La base de données ARIA recense une cinquantaine d'événements de ce type dans la fusion des métaux ferreux ou non ferreux.

Le contact intempestif eau / métal en fusion peut provoquer des explosions de vapeur, phénomène purement physique résultant de la vaporisation de l'eau, avec projections de métal liquide et expansion volumique créant une onde de pression ; à l'air libre, la transformation eau / vapeur entraîne une augmentation de volume d'un facteur 1700.

Il peut également être à l'origine de réactions d'oxydo-réduction générant de l'hydrogène qui peut brûler au fur et à mesure de sa production (ARIA [4525](#)) ou provoquer une explosion très violente (ARIA 34800) comparable par ses effets à celle de plusieurs kilogrammes de TNT (de l'ordre du kg de TNT pour quelles centaines de millilitres d'eau réagissant avec de l'aluminium en fusion). En présence de carbone (aciers, fontes) une émission de monoxyde de carbone susceptible d'exploser peut aussi se produire.

Ainsi plusieurs phénomènes d'ordre physique et chimique interviennent à haute température :

- ✓ H_2O liquide $\rightarrow H_2O$ vapeur (expansion volumique due au changement d'état physique)
- ✓ Métal réducteur + $H_2O \rightarrow$ métal oxydé + H_2
puis $H_2 + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow H_2O$ (explosion résultant de la combustion avec l'oxygène de l'air)
- ✓ $C + H_2O \rightarrow CO + H_2$
puis $CO + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow CO_2$ (explosion résultant de la combustion avec l'oxygène de l'air)

Les circonstances de ces explosions se retrouvent à toutes les phases de production : au cours de la fusion dans le four (ARIA 23912, 27316), à la suite de la coulée du métal dans les lingotières ou les poches (ARIA 17205, 17548), lors du déversement des scories (ARIA 8640, 34527) et enfin pendant le transport de poches de métal (ARIA 23317). La prévention de tels événements passe donc par une analyse des risques exhaustive de chaque phase d'exploitation.

Les défaillances organisationnelles et humaines contribuent largement à la survenue ou l'aggravation de ce type d'événements. La chute d'une poche d'acier liquide à la suite de son arrimage incorrect et d'un contrôle insuffisant (ARIA [28574](#)), l'alimentation du four avec une charge humide (ARIA 34239, [34513](#)), une coulée massive de cuivre en fusion dans un bac de trempe (ARIA [3924](#)) illustrent cette problématique récurrente. Des procédures et consignes d'exploitation adaptées, leur connaissance et leur respect par les intervenants dans les unités, une formation aux risques des personnels, sont des règles primordiales pour limiter ces anomalies. Les défaillances matérielles constatées telles que l'usure des réfractaires (ARIA [8044](#)) ou / et les fuites sur le système de refroidissement des installations (ARIA [4876](#)), des fuites d'eau en toiture (ARIA 22976) rappellent si besoin en était la nécessité d'une maintenance préventive correctement réalisée (ARIA [26928](#), [33059](#)) et l'intérêt d'une surveillance du process permettant de prendre les mesures adaptées en cas d'anomalies détectées (ARIA [33059](#)).






Des causes exceptionnelles, "externes" à l'unité, peuvent également être à l'origine de ces contacts eau / métal comme l'illustre l'explosion de vapeur survenue au Japon à la suite du renversement d'un wagon de métal par une vague d'eau de 15 000 m³ provoquée par la rupture brutale d'un gazomètre (ARIA [104](#)).






Les conséquences humaines sont parfois dramatiques ; 5 employés décédés et 5 autres blessés dans une fonderie d'acier (ARIA 29633), 5 morts et 4 blessés graves dans une usine de production de ferromanganèse (ARIA [34276](#)), 1 mort et 1 blessé dans une aciérie (ARIA 3512) en sont quelques exemples. Au-delà du lourd bilan humain, les dommages matériels ainsi que les pertes d'exploitation peuvent être importants (ARIA [28574](#)) et la remise en état des installations entraîner plusieurs semaines de chômage technique (ARIA 5663).






La mise en place d'enceintes de confinement pour protéger les opérateurs (ARIA [17552](#), [29851](#)), le port par les salariés d'équipements de protection individuelle adaptés (ARIA 17548), la limitation au strict nécessaire du nombre de personnes présentes dans les zones à risques (ARIA [34513](#)) constituent quelques mesures de nature à limiter les conséquences des accidents pour le personnel.






Phénomène violent aux conséquences parfois dramatiques, les "explosions eau / métal" méritent une attention particulière de la part des exploitants. Le respect des règles de l'art pour l'exploitation et l'entretien des fours, la bonne gestion des "interfaces" métal en fusion / eau de refroidissement et la maîtrise des eaux parasites (fuites, flaques...) sont des conditions indispensables pour limiter l'occurrence de tels accidents. L'appropriation des mesures préventives correspondantes par toutes les personnes susceptibles d'intervenir dans ces unités conditionne la prévention de ces risques.






Les accidents dont le n°ARIA n'est pas souligné sont consultables sur
www.aria.developpement-durable.gouv.fr






     **ARIA 104 - 15/01/1989 - JAPON - SAKAI / OSAKA-FU**
 24.1 - Sidérurgie
 Suite à une mauvaise soudure réalisée 15 ans auparavant, des fissures entraînent la rupture brutale du réservoir d'eau d'un gazomètre de 35 000 m³, et le rejet de 15 000 m³ d'eau et 25 000 m³ de gaz à 70 % de CO. Le nuage de CO s'enflamme immédiatement. La nappe d'eau renverse un wagon de métal en fusion (torpedo-car) en attente, générant une explosion de vapeurs. Les projections de métal propagent l'incendie à 3 autres bâtiments sur le site. L'incendie est maîtrisé en 3 h avec 17 véhicules. Un blessé est à déplorer.






     **ARIA 3924 - 09/09/1992 - 33 - MERIGNAC**
 24.54 - Fonderie d'autres métaux non ferreux
 Une fausse manœuvre d'un opérateur provoque une explosion due à une vaporisation instantanée d'eau de trempe à la suite d'une coulée massive de cuivre en fusion. La cuve de trempe et la toiture sont détruits. Un ouvrier est blessé et le four est arrêté.

     **ARIA 4525 - 10/06/1993 - 38 - JARRIE**
 24.45 - Métallurgie des autres métaux non ferreux
 Lors du déchargement d'un four assurant la réaction du tétrachlorure de zirconium (ZrCl₄) sur du magnésium (Mg), une explosion se produit dans une zone de manutention d'un atelier produisant des éponges de zirconium.
 Les personnes présentes dans l'atelier souffrent de pertes auditives sans rupture de tympan ; les dommages matériels engendrés sont spectaculaires : 3000 m² de bardage et de toiture de l'atelier en fibrociment sont pulvérisés sous le souffle de la détonation, les grilles de couvertures de la fosse sont projetées de 3 à 5 m vers le haut, la porte du bâtiment est arrachée, les gonds brisés... Ces constatations indiquent que l'explosion est équivalente à celle de 1 kg de TNT. Les coûts des dommages sont estimés à 4.5 MF.
 L'hypothèse de l'écoulement de magnésium liquide dans une fosse contenant les eaux de lavage des matériels est avancée. L'explosion pourrait résulter de plusieurs phénomènes concomitants tels que la formation d'hydrogène par décomposition de l'eau, la vaporisation de l'eau, la pulvérisation du magnésium et sa réaction avec l'oxygène de l'air... Néanmoins, un rapport d'expertise conclue que l'explosion thermique (vaporisation de l'eau) peut expliquer à elle seule les dommages constatés ; les réactions d'oxydation du magnésium avec l'eau ou l'air ont été limitées ; le déversement de magnésium dans la fosse a généré de l'hydrogène en quantité proportionnelle au déversement, ce combustible ayant pu brûler au fur et à mesure de son dégagement au niveau de la fosse, compte tenu de la présence de feu et d'étincelles avant l'explosion.
 Les mesures prises pour diminuer la probabilité de renouvellement d'un tel accident sont les suivantes : création d'une rétention métallique pour le dépôt des paniers de réactions après déchargement dans l'attente de leur refroidissement, contrôle de la température par crayon thermosensible avant toute manipulation, suppression des caniveaux et fosses de lavage contenant de l'eau dans l'atelier...



     **ARIA 4876 - 02/12/1993 - 78 - PORCHEVILLE**
 24.32 - Laminage à froid de feuillards
 Dans une aciérie, une explosion se produit dans un four électrique à la suite d'une fuite d'eau dans un circuit de refroidissement. Le souffle de l'explosion arrache des bardages métalliques et brise des vitres. Neuf blessés légers sont à déplorer et des équipements du four sont endommagés ; 50 pompiers sont intervenus.

     **ARIA 8044 - 17/10/1995 - 55 - STENAY**
 24.52 - Fonderie d'acier
 Un four électrique à induction d'une capacité de 1 t explose dans une fonderie d'acier. Aucune victime n'est à déplorer. La perte de production est estimée à 400 kF par semaine d'immobilisation. Une projection d'eau dans le métal en fusion à la suite d'une forte usure du réfractaire (pourtant vérifié quelques heures auparavant) et du perçage par fusion des tubes de refroidissement en cuivre sont à l'origine de l'accident. Un organisme tiers effectue une enquête.


     **ARIA 17552 - 11/04/2000 - 78 - BONNIERES-SUR-SEINE**
 24.10 - Sidérurgie
 Dans une aciérie électrique, après le vidage du four (70 t par coulée) dans une poche, un employé intervient pour boucher l'orifice de vidange ; il s'agit de la seule opération non encore automatisée. Lors de son entrée dans le Dog House, confinement en béton réalisé autour du four, une explosion d'eau vaporisée au contact de l'acier en fusion se produit et l'employé décède sur le coup. Le four est endommagé : couvercle sorti de son axe, abside projetée à plusieurs mètres... Une défaillance matérielle (fuite d'eau sur le circuit de refroidissement) est suspectée. L'entrée prématurée de l'employé dans l'enceinte de protection alors que le four n'était pas revenu en position normale aurait été la cause fortuite de l'atteinte corporelle de la victime. Une enquête judiciaire est effectuée.



     **ARIA 26928 - 14/04/2004 - 87 - LE PALAIS-SUR-VIENNE**
 24.10 - Sidérurgie
 Vers 19h30, 5 à 6 explosions de vapeur en moins de 60 s endommagent le four (1 550 °C) d'un établissement revalorisant des déchets industriels par pyrométallurgie. L'accident est dû à un contact brutal eau de refroidissement / métal et laitier en fusion après percement de la paroi latérale du four en raison d'une usure des réfractaires ; 2 à 3 t de métal fondu et 35 t de laitier se répandent dans le bâtiment. Trois employés sont hospitalisés pour des examens auditifs ; l'un d'eux situé à 20 m du lieu de l'explosion présente une lésion d'un tympan mais sans effet irréversible. Des dommages matériels sont observés : vitre de la salle de commande de 17 mm d'épaisseur détruite à 11 m de l'explosion, murs ébranlés mais non effondrés, bris de vitres et petits dommages dans un rayon de 40 m, fusion d'une partie de la goulotte, tuyauteries endommagées... Les installations hors d'usage sont mises en sécurité. L'inspection des installations classées effectue une enquête. Une expertise évalue le terme source de l'explosion à 200 g de TNT, soit la détente brutale de 55 à 1 bar d'un peu plus de 1 l d'eau à sa température maximale de surchauffe (270 °C). Après percement du four (orifice de 66 cm de l'ong sur 15 cm de haut au-dessus de la zone de coulée), la 1ère explosion résulterait du contact d'une faible quantité d'eau et de matière en fusion vers la zone de coulée. La 2ème ferait suite à l'arrivée de cette matière dans la goulotte de collecte de l'eau de refroidissement du casing du four (film liquide de faible épaisseur dans la goulotte). La 3ème explosion, 10 s après la 1ère et la plus violente selon les témoins, résultant de l'emprisonnement d'eau, accumulée localement, par de la matière en fusion s'écoulant dans les zones d'évacuation de la goulotte (tuyauteries). Les

autres explosions de faible ampleur seraient dues à des contacts aléatoires eau / matière fondue. Les réfractaires refaits en janvier 2004 seront expertisés ; une abrasion prématurée après micro-fracturation à la suite d'un défaut de montage ne permettant pas un espace de dilatation suffisant est évoquée. Plusieurs mesures sont prises : renforcement des mesures de température et de leur interprétation pour prévenir un percement du four, limitation des zones potentielles d'accumulation d'eau pour en prévenir le contact avec la matière fondue, rédaction de consignes définissant les actions à réaliser par les opérateurs et à assurer leur protection en situation accidentelle.


  **ARIA 28574 - 18/11/2004 - 57 - GANDRANGE**



 24.10 - Sidérurgie

 Une poche de 160 t d'acier liquide bascule, puis se décroche vers 3 h dans une usine sidérurgique lors de son levage par le pont roulant sur rails reliant la station d'affinage à la coulée continue. Une explosion se produit quand le métal en fusion entre en contact avec le béton humide du sol de l'atelier hors de la fosse de récupération. Les pompiers éteignent l'acier en fusion. Un employé brûlé par le rayonnement thermique de l'acier à 1 500 C est hospitalisé, 6 autres sont légèrement blessés par la déflagration. Le bardage du bâtiment et des protections en tôle de l'atelier voisin sont soufflées. Le positionnement incorrect de l'un des 2 crochets sur la poche de métal et un contrôle (prévu par une consigne) insuffisant par l'agent chargé de la vérification du bon accrochage de la charge sont à l'origine de l'accident. Les dommages matériels sont évalués à 500 Keuros et les pertes de production à 700 Keuros.


  **ARIA 29851 - 16/05/2005 - 59 - GRANDE-SYNTHE**

 24.10 - Sidérurgie

 Dans une usine sidérurgique Seveso, 2 explosions et une émission de fumées rougeâtres se produisent vers 11 h durant la coulée de la fonte en fusion d'un wagon poche tonneau de 450 t dans une fosse au niveau du sol. L'opérateur arrête le déversement. Cette coulée avait été décidée après la détection d'un défaut au niveau du bec verseur du wagon qui ne permettait pas le transfert normal de la fonte dans des poches droites. Alertés par de nombreux appels téléphoniques, les pompiers conseillent à leurs interlocuteurs de se confiner. Aucun blessé n'est à déplorer, le poste de commande de la coulée étant protégé (bunker) et un périmètre de sécurité étant délimité de façon permanente autour des fosses. Un contact eau / métal en fusion est à l'origine de l'accident ; la coulée anormalement rapide de la fonte a confiné l'humidité des stériles constituant le fond de fosse et provoqué l'explosion de vapeur. La coulée des 250 t résiduelles, effectuée sans incident vers 12h30, générera néanmoins un nouveau panache rougeâtre.



  **ARIA 33059 - 08/06/2007 - 78 - PORCHEVILLE**

 24.10 - Sidérurgie


 Dans une aciérie électrique vers 19h10, l'opérateur de conduite du four de fusion (70 t) aperçoit des flammes bleues avec la caméra de surveillance, signe de la présence d'eau dans le four. Il ferme le volet de sécurité devant la vitre de séparation entre la cabine de commande et l'enceinte du four et fait évacuer les salariés du secteur. Une violente explosion se produit quelques instants plus tard à la suite du contact eau / métal en fusion.



Dans l'après-midi une fuite d'eau avait été constatée sur 2 flexibles de retour de refroidissement de la voûte du four. L'un avait été changé et pour pallier la défaillance du second, il avait été décidé de mettre en service le circuit de retour de secours ; la vanne d'eau de ce circuit n'ayant pas été ouverte un dysfonctionnement du système de refroidissement s'est produit provoquant le percement d'un tube et l'entrée d'eau dans le four. Deux employés légèrement commotionnés sont conduits à l'hôpital ; ils en sortent dans la soirée. Les dégâts matériels sont importants : chute des portes du "dog house" (enceinte du four), rupture des tirants de suspension de la voûte, projection dans le bâtiment d'une partie du dispositif de captations des fumées. Le coût des dommages matériels est estimé à 1,64 Meuros et les pertes d'exploitation à 630 keuros.

Au cours de son enquête, l'inspection des installations classées relève : une organisation insuffisante des travaux de maintenance des flexibles d'alimentation en eau de la voûte du four (procédures, gestion des intervenants, surveillance...), une instrumentation en place ne permettant pas de contrôler l'efficacité du refroidissement de la voûte et l'intégrité du circuit d'eau (pas de mesure de variation de température, de pression), l'absence d'instrumentation du circuit de refroidissement de secours. L'exploitant diligente une enquête par un organisme tiers pour préciser les causes de l'accident et définir les mesures techniques et organisationnelles à mettre en place pour éviter son renouvellement ; il prévoit également : l'instrumentation du circuit de secours, la révision de l'organisation de la maintenance, la mise en place d'un détecteur hydrogène, la réalisation d'une étude sur l'instrumentation des circuits de refroidissement afin de permettre un meilleur suivi de leur efficacité.


  **ARIA 34276 - 24/02/2008 - AFRIQUE DU SUD - CATO RIDGE**

 24.10 - Sidérurgie

 Une explosion se produit un dimanche matin dans un des hauts-fourneaux d'une usine de production de ferromanganèse entraînant la chute d'un mur de la salle de contrôle ; 5 morts et 4 blessés graves sont à déplorer. Selon la presse, un contact eau / métal en fusion pourrait être à l'origine de l'accident. Les autorités compétentes ordonnent la fermeture de l'usine afin de permettre à l'inspection du travail d'évaluer le niveau de sécurité des installations.

  **ARIA 34513 - 25/04/2008 - 03 - COMMENTRY**

 24.10 - Sidérurgie

 Une explosion se produit vers 3 h dans un four électrique de 28 t d'aciérie. Le POI est déclenché, les alimentations en fluides sont interrompues et les pompiers sont alertés. Le métal en fusion est transféré du four dans une poche. Les secours publics n'ont pas à intervenir la suppression de la déflagration étant restée cantonnée au four (affalement interne de la voûte). Aucun blessé n'est à déplorer ; il n'y avait pas de personnel à proximité au moment de l'explosion. Aucun chômage technique n'est prévu.

La cause privilégiée de l'accident est identique à celle à l'origine de l'explosion survenue dans cet établissement le 08 février 2008 (ARIA n°34239), à savoir un contact eau/métal en fusion dû à la présence d'eau en quantité non négligeable introduite avec un big-bag de poussières qui sont recyclées en interne dans l'élaboration de l'acier. Ces big-bags sont entreposés en extérieur. L'opérateur de chargement n'a semble-t-il pas respecté une consigne interne, établie à la suite du précédent accident, qui interdit l'utilisation de sacs de poussières qui ont séjourné plus d'un jour à l'air libre. L'exploitant renforce les procédures et la vigilance pour l'enfournement de matières dans le four.