

ASSURER UNE CONCEPTION EFFICACE DES BARRIÈRES DE SÉCURITÉ INCENDIE ET EXPLOSION

Cet article partage les bonnes pratiques d'ingénierie de sécurité incendie et explosion, appliquées aux nouvelles filières de l'énergie, en listant les points de vigilance à travers le choix et le dimensionnement des différentes mesures de prévention.

LAURENT
PARIS,
VIRGINIE
DREAN
Efectis

L'essor des filières batteries et hydrogène a vu émerger de nouveaux acteurs qui ne disposent pas toujours de la culture sécurité des acteurs historiques de l'énergie.

L'environnement fortement concurrentiel dans ces secteurs pousse certains développeurs de briques technologiques (par exemple électrolyseurs, piles à combustible, batteries ou réservoirs) à prioriser la mise sur le marché avec une approche focalisée principalement sur le produit au détriment d'une approche système. L'intégration revient alors à l'opérateur qui n'est pas nécessairement suffisamment informé et compétent sur les aspects de sécurité. Enfin, les approches prescriptives existantes (règles

et normes actuelles) ne sont pas forcément adaptées pour ces nouvelles applications.

Une meilleure prévention des risques dans ces filières s'appuiera sur :

- la réalisation d'analyse des risques pour les systèmes dès la phase de conception ;
- l'appropriation des bonnes pratiques et des méthodes des filières existantes comme celles du pétrole et du gaz ;
- le recours à une approche performantielle de la sécurité incendie et explosion, basée sur l'atteinte des objectifs de sécurité et non sur le respect de prescriptions (Cf. pp. 56-60), permettant de développer des solutions adaptées et innovantes.



© Fabrice Dimier pour l'INRS / 2025

Cet article s'attache à partager le retour d'expérience acquis ces dernières années quant aux bonnes pratiques d'ingénierie de sécurité incendie et explosion, appliquées aux nouvelles filières de l'énergie, en pointant les points de vigilance à travers le dimensionnement des barrières de sécurité.

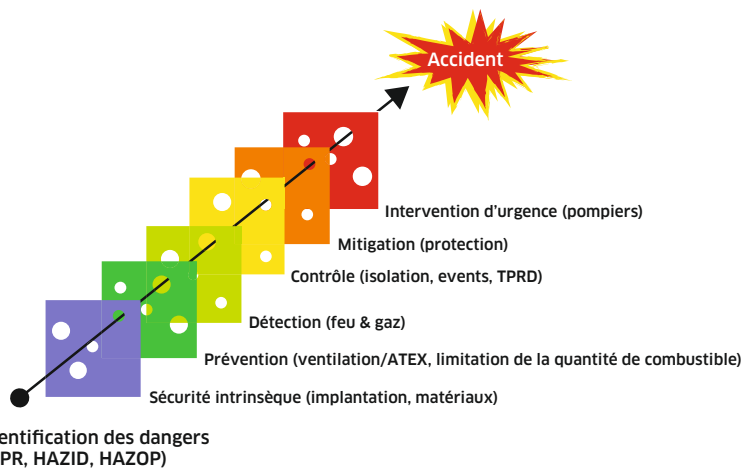
Gestion des risques incendie et explosion

Barrières de sécurité

En amont de l'application de la méthode des barrières de sécurité, il convient de définir avec l'ensemble des parties prenantes (utilisateurs, concepteurs, autorités) les objectifs de sécurité et les exigences de performance à satisfaire pour chaque barrière (seuil d'acceptabilité). Cette étape doit également intégrer les exigences spécifiques telles que celles émises par les assureurs ou sociétés de certification.

Le principe fondamental de la méthode consiste à introduire différentes couches, visant à réduire la fréquence ou la gravité d'un danger (Cf. Figure 1 – terminologie issue de la norme NF EN ISO 13702 [1]).

Ces différentes barrières peuvent être passives ou actives, avec une action potentielle sur la fréquence ou la gravité. La valorisation de ces barrières dans les analyses de sécurité permettra de parler alors de conséquences résiduelles. Chaque barrière doit être dimensionnée sur la base de scénarios crédibles afin de couvrir l'ensemble des risques jusqu'au seuil d'acceptabilité. Les scénarios de dimensionnement peuvent être corrélés à une fréquence d'occurrence.



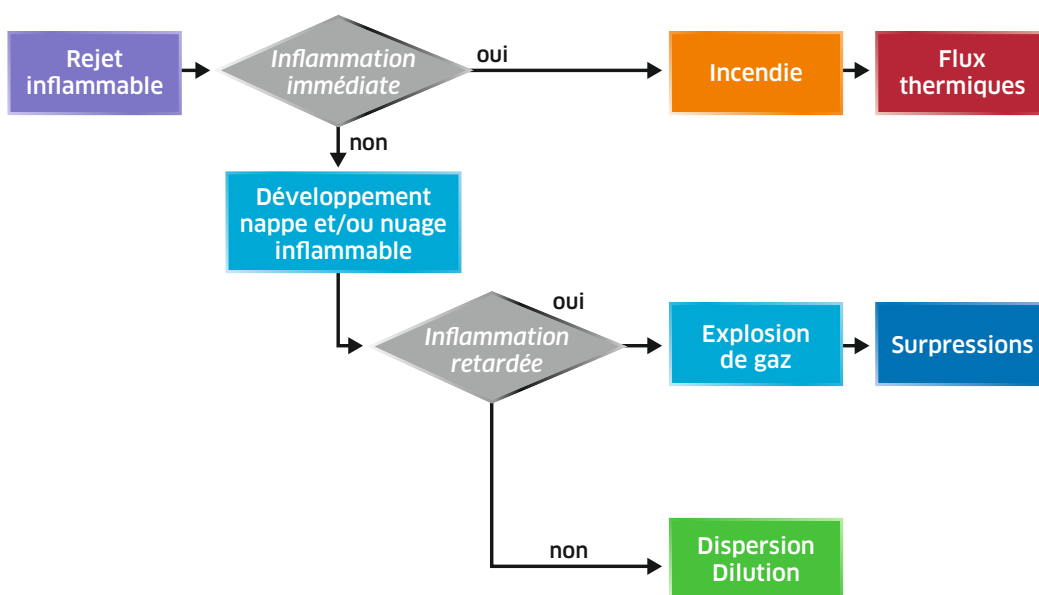
Identification des dangers

La première étape consiste à identifier les situations dangereuses, pour ensuite développer un arbre d'événements des conséquences potentielles (Cf. Figure 2). Cette approche s'appuie sur des techniques d'analyse usuelles menées en groupe d'experts pluridisciplinaire et permet ensuite de définir des scénarios accidentels pour le dimensionnement des barrières de protection.

Parmi ces techniques d'analyse, deux méthodes sont généralement utilisées lors du développement d'un projet car elles ont un impact fort sur la conception des barrières de sécurité :

- l'Hazop (*Hazard & operability*) : analyse systématique des risques liés aux dérives de procédés (système) ;
- l'Hazid (*Hazard identification*) : analyse systématique des interactions entre le système et son environnement.

↑ FIGURE 1
Vue d'ensemble des barrières de sécurité et d'atténuation des effets.



← FIGURE 2
Exemple d'arbre d'événements consécutif à une fuite sur une canalisation contenant un liquide inflammable.



ENCADRÉ 1

EXEMPLE DE MISE EN ÉVIDENCE DE L'INTÉRÊT D'UNE ANALYSE HAZID

Les groupes électrogènes à hydrogène apparaissent comme une alternative intéressante pour les utilisateurs. Cette solution n'émet pas directement de CO₂ et son fonctionnement est plutôt silencieux. En revanche, le stockage et la mise en œuvre d'hydrogène à haute pression nécessitent de s'interroger sur les interactions avec l'environnement d'exploitation (agressions externes et conséquences pour l'environnement).

• **Cas 1 : Alimentation isolée après défaillance du réseau électrique local suite à un événement intempetif**

L'installation d'un tel équipement dans une zone isolée n'est pas de nature à générer des risques inacceptables : les agressions externes potentielles sont limitées ou facilement maîtrisables (probabilité faible). Une fuite sur le système hydrogène n'est pas de nature à générer des conséquences sévères sur les personnes à proximité.

• **Cas 2 : Alimentation à proximité d'un festival afin d'éviter les nuisances sonores et l'émission directe de CO₂**

D'une part, le public nombreux et imprévisible est une menace potentielle difficile à gérer pour l'installation située à proximité et, d'autre part, en cas de fuite, les conséquences seraient désastreuses pour les personnes.

Ces deux cas antagonistes illustrent la nécessité pour le même système de réaliser une analyse des risques de type Hazid même modeste afin de statuer sur l'acceptabilité et de définir des barrières techniques adaptées à la situation.

d'analyses de risques. Une approche courante est l'approche semi-quantitative reposant sur une matrice d'acceptabilité (Cf. Tableau 1) comportant plusieurs niveaux de risque. L'exemple ci-dessous comporte trois niveaux de risque, définissant trois zones de risque.

Le principe fondamental est de réduire le niveau des risques en zones 2 et 3 à un niveau acceptable (zone 1) préalablement défini (approche Alarp : *as low as reasonably practicable*) en s'appuyant sur le dimensionnement de barrières de sécurité appropriées.

Il convient de préciser que dans une approche performantielle réaliste, et eu égard au fait qu'un risque résiduel ne peut être écarté, il est nécessaire de définir préalablement les critères d'acceptabilité du risque. Il est en effet essentiel que l'ensemble des acteurs (assureurs, opérateurs, ingénierie, constructeur et bureau de contrôle) s'accordent d'abord sur les objectifs de sécurité puis sur le niveau de risque acceptable pour le projet compte tenu des enjeux.

Pour les technologies émergentes (systèmes de batteries stationnaires ou installations hydrogène), la principale difficulté réside dans la quantification des fréquences d'occurrence en l'absence de banque de données fiables issue du retour d'expérience et de l'accidentologie, comme cela peut être le cas dans le secteur industriel traditionnel. À l'heure actuelle, la transposition du retour d'expérience d'autres secteurs d'activité doit être privilégiée, tout en s'assurant de bien identifier les spécificités de ces nouvelles applications pour adapter les valeurs, en ayant une lecture critique des données existantes.

Sécurité intrinsèque

La sécurité intrinsèque n'est pas une barrière technique à proprement parler, mais consiste en la mise en œuvre de bonnes pratiques issues du retour d'expérience lors de la conception, notamment :

- réduire les potentiels de dangers (choix des procédés, conditions opératoires, nature et phase des produits mis en œuvre, limitation des quantités) ;
- sélectionner des matériaux constitutifs adaptés à l'application, comme dans le cas de l'hydrogène ;
- isoler et espacer les zones à risque par rapport aux personnes (distances de sécurité) ;
- assurer un compartimentage et un arrangement interne limitant la propagation.

Ces principes permettent de réduire à la fois l'occurrence des phénomènes accidentels et leur gravité. Dans une perspective de densification du stockage de l'énergie (haute pression pour l'hydrogène, augmentation des densités d'énergie pour les batteries au lithium), ces principes fondamentaux peuvent être complexes à satisfaire et sont souvent

Conséquences	Significatives	2	2	3	3
	Moyennes	1	2	2	3
	Faibles	1	1	2	2
	Négligeables	1	1	1	2
Matrice d'acceptabilité des risques	Négligeable	Faible	Moyenne	Élevée	
	Fréquences				

↑ TABLEAU 1 Matrice d'acceptabilité des risques semi-quantifiée.

La méthode Hazop est menée naturellement par les concepteurs de briques technologiques car elle concerne directement le produit et son fonctionnement (process). Elle permet de définir des barrières de sécurité intrinsèques, de prévention, voire de contrôle.

La méthode Hazid vise à évaluer l'intégration de la brique technologique dans un système plus large et donc d'identifier les interactions avec son environnement. Elle est spécifique à chaque projet et nécessite une attention particulière en regard des enjeux de sécurité. Les situations accidentelles sont traitées lors de cette revue (Cf. Encadré 1).

L'analyse des dangers peut être complétée en intégrant la fréquence d'occurrence. Il s'agit alors

remis en cause, obligeant à durcir les autres barrières pour atteindre le niveau de sécurité requis.

Prévention

Les barrières de prévention visent principalement à réduire l'occurrence des événements indésirables. Parmi les mesures envisageables, la ventilation est une barrière usuelle vis-à-vis du risque d'explosion mais peut être aggravante pour le risque incendie. La ventilation peut être naturelle, avec des variations potentielles en regard des conditions ambiantes, ou mécanique, maîtrisée mais nécessitant alors une maintenance régulière afin d'en garantir la fiabilité.

Pour les applications conteneurisées (groupe électrogène hydrogène ou poste de stockage par batteries), le système de ventilation doit être suffisamment dimensionné pour permettre la dilution des émissions éventuelles risquant de former un mélange explosif. Une ventilation d'urgence peut également être activée sur détection de gaz. Cependant, en cas d'incendie, il est préférable de réduire l'apport d'oxygène en agissant sur la ventilation. Ces deux exigences étant antagonistes, il est nécessaire d'avoir une approche équilibrée en vue de prendre les meilleurs choix selon la stratégie de sécurité définie (Cf. Encadré 2).

Détection feu et gaz

Les barrières de détection feu et gaz ont un double objectif :

- alerter le personnel et permettre l'évacuation (réduction de la gravité pour les personnes situées à proximité du danger) ;
- réduire le potentiel de danger par la mise en sécurité de l'installation (Cf. « Contrôle et atténuation des effets » p. 52).

La philosophie de détection doit s'inscrire dans une stratégie de sécurité globale en cohérence avec le dimensionnement des autres barrières en se référant aux objectifs de sécurité définis. La conception du système de détection doit prendre en compte les aspects suivants :

- la nature du scénario de feu et de l'émission : caractéristiques du foyer, produits émis, taille de l'orifice de fuite, position, direction, probabilité... ;
- le choix d'une logique de détection : par exemple définir des actions en fonction de l'activation d'un certain nombre de détecteurs ;
- le choix d'un ou plusieurs seuils de détection, par exemple pour un scénario d'émission et de risque d'explosion : 20 % LIE, 50 % LIE, et pour un scénario de feu : détection de fumées ou de monoxyde de carbone ;
- le temps de détection maximum requis et la réactivité du système pour chaque scénario ;
- le taux de couverture (pourcentage de l'espace couvert par un ou plusieurs détecteurs),

ENCADRÉ 2 GARANTIR UN ZONAGE ATEX ADAPTÉ À SON ENVIRONNEMENT GRÂCE À LA SIMULATION

Une mesure de prévention systématiquement mise en œuvre pour prévenir la formation d'une atmosphère explosive (Atex) consiste à mettre en place un taux de renouvellement d'air horaire permettant théoriquement d'éviter l'atteinte d'une fraction de la limite inférieure d'explosivité (LIE), généralement de 20 à 25 %.

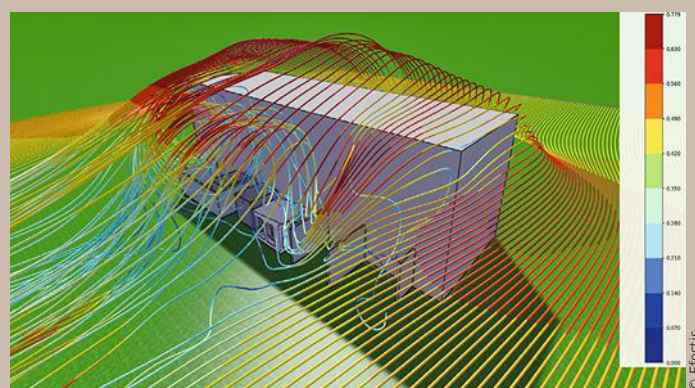
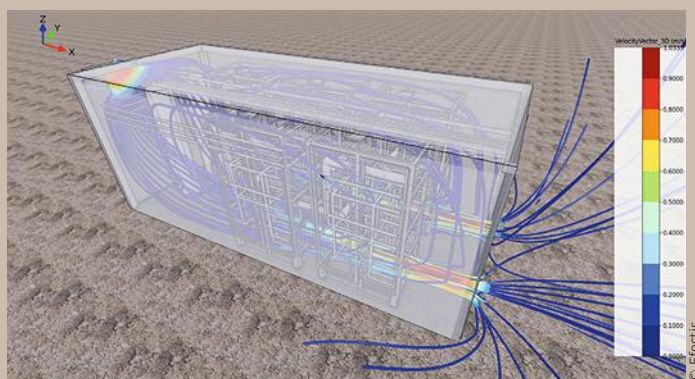
Cette approche est cependant limitée car elle considère une concentration moyenne et ne prend en compte que de manière limitée les paramètres suivants :

- caractéristiques de l'émission dans le scénario de dimensionnement (débit, composition) ;
- nature de la ventilation (naturelle/mécanique) ;
- encombrement interne et zones de recirculation ou zones mortes ;
- environnement du système (distances minimales d'un bâtiment) notamment pour les entrées d'air.

Les analyses menées avec des outils numériques de mécanique des fluides (CFD) permettent de prendre en compte tous ces aspects et de parvenir à un zonage Atex bien plus réaliste en intégrant par exemple le risque de formation de poches de gaz inflammable localement en raison de l'hétérogénéité du milieu.

La CFD peut également être utilisée en conception (par exemple, positionnement et débit des ventilations) ou pour quantifier les effets en cas d'explosion.

Toutefois, ces analyses nécessitent un niveau de détails et de compétences suffisant pour être pertinentes. Il est donc préférable d'exploiter des modèles simples en début de conception et de valider celle-ci par la CFD dans les étapes ultérieures lorsque le projet est plus mature.



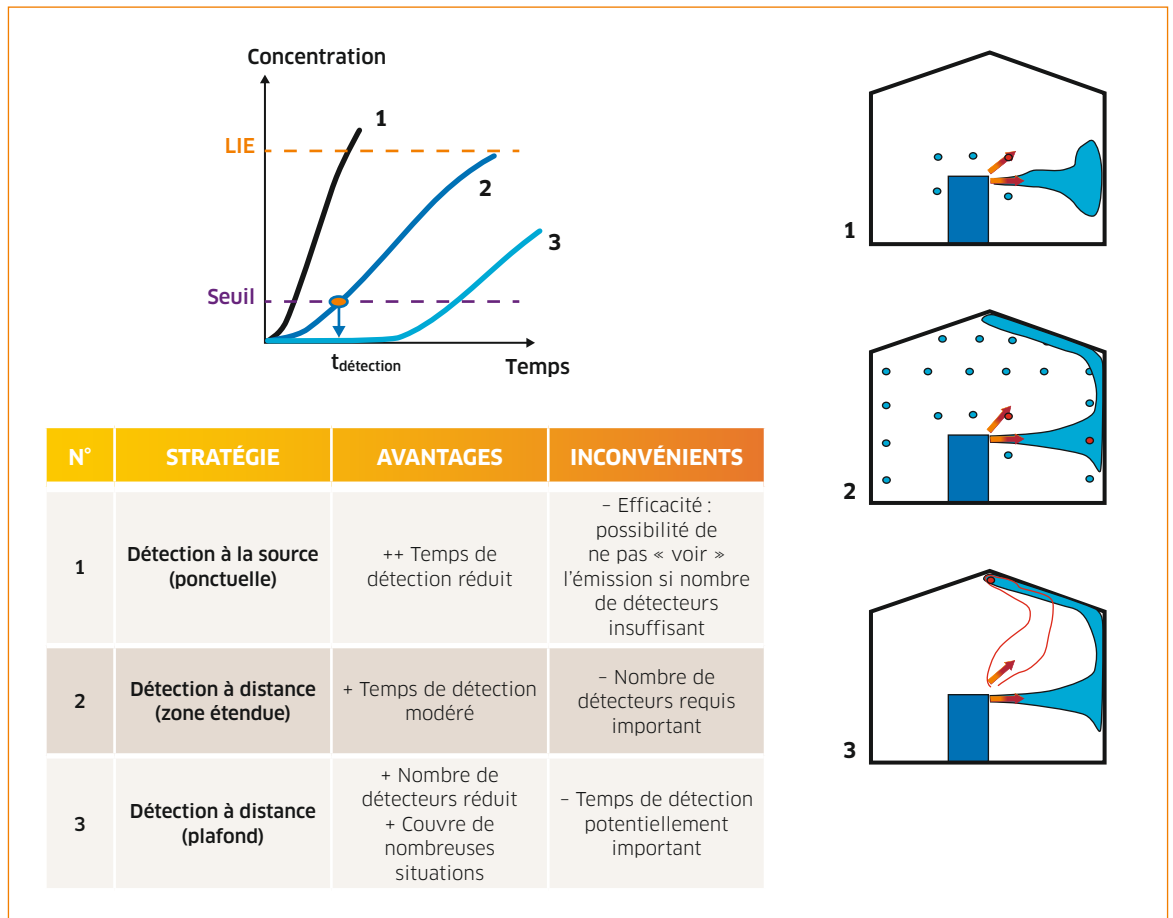


FIGURE 3 → Exemples de différentes stratégies de détection pour une émission d'hydrogène sous pression matérialisée par les flèches rouges.

en prenant en compte l'encombrement de la zone (facteur limitant pour la réactivité du système) ;

- la combinaison de plusieurs technologies/la redondance pour atteindre un niveau de fiabilité souhaité et notamment éviter les alarmes intempestives.

La conception d'une détection performante doit considérer différents scénarios probables, en prenant en compte leur fréquence d'occurrence et les conséquences attendues pour évaluer l'acceptabilité du risque de non-détection.

Dans la pratique, dans un scénario d'émission de produits inflammables, il paraît illusoire de vouloir tout détecter car ces émissions sont directionnelles avant de rencontrer un obstacle. La Figure 3 illustre différentes stratégies qui peuvent être mises en place dans un local fermé en l'absence de ventilation pour détecter une émission d'hydrogène sous pression ou au niveau de l'évent d'une batterie lors d'un emballement thermique.

Enfin, pour assurer un maintien des performances de cette barrière « détection » dans le temps, il est nécessaire de considérer l'aspect « maintenance » du système pendant toute la durée de vie de l'ouvrage.

Contrôle et atténuation des effets

Sur la base d'une détection confirmée, des actions peuvent être effectuées afin d'atténuer les effets de l'événement accidentel considéré (Cf. Tableau 2). De manière pratique, il convient d'agir sur l'intensité de l'événement accidentel et/ou sur sa durée par la limitation de la quantité de combustible ou d'air disponible, voire d'agir sur les sources d'inflammations potentielles.

Le contrôle des effets s'apparente à la mise en place de mesures de mitigation selon la terminologie française, mais se distingue des mesures de protection (visant à gérer le risque résiduel) dans les normes internationales (telles que NF EN ISO 13702 [1]). Les barrières de contrôle sont actives (et donc associées à une certaine réactivité et fiabilité), alors que les barrières de protection sont plutôt passives, et par essence fiables sous réserve d'être entretenues.

L'interaction entre les risques incendie et explosion doit être évaluée afin de s'assurer du meilleur compromis dans la gestion globale des risques.

Les dispositifs de protection des systèmes sous pression (Cf. Encadré 3) peuvent être complémentaires mais doivent surtout être définis en fonction

DISPOSITIF	OBJECTIF	PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT	LIMITATIONS
Parois de décharge active	Réduire les surpressions engendrées dans un environnement confiné.	Ouverture d'un événement après atteinte d'un seuil de surpression prédéfini.	Propagation à l'extérieur des flammes et de l'onde de surpression.
Sprinklage	Contrôler et/ou éteindre un incendie.	Libération d'eau après atteinte d'un seuil de température prédéfini ou manuellement après détection.	Explosion, le sprinklage étant générateur de turbulence pouvant favoriser ou aggraver une explosion.
Noyage	Refroidir et éviter la propagation d'un emballage thermique d'une batterie.	Injection d'un fluide caloporteur permettant d'absorber et d'évacuer la chaleur dégagée par la réaction et faire baisser la température.	Nécessite la proximité d'un bac de noyage et la manipulation de la batterie vers le bac.

↑ TABLEAU 2 Exemples de barrières de contrôle (non exhaustifs).

de la nature des scénarios d'agression à considérer, qu'ils soient d'origine interne ou externe.

Concernant les disques de rupture ou les événements, un compromis doit être défini, lors du dimensionnement en conception, entre les effets déchargés à l'extérieur de l'équipement et sa résistance. En effet, une faible surface d'événement conduira à limiter les effets externes mais la résistance à la pression de l'équipement devra être plus importante. Réciproquement, une surface d'événement importante minimisera les pressions internes mais conduira à des zones d'effets externes accrues. (Cf. Figure 4).

Les caractéristiques des surfaces d'événements peuvent être évaluées sur la base de corrélations empiriques simplifiées pour les situations les plus simples, ou par des outils de simulation en mécanique des fluides (CFD) dans les cas les plus complexes (mélange réactif particulier, encombrement de la zone). Les données expérimentales montrent que l'accélération de la flamme peut être très importante lorsque la teneur en hydrogène est élevée (applications hydrogène, gaz d'emballage de batteries pour certaines chimies). Par conséquent, il convient de s'assurer d'une réactivité suffisante des événements afin d'assurer une atténuation significative des effets.

Concernant les dispositifs de type TPRD (Cf. Encadré 3), leur efficacité dépend fortement de leur localisation et des caractéristiques de l'incendie (taille et durée). En effet, des essais menés par Efectis ont montré qu'une exposition au feu localisée à distance des TPRD sur un réservoir peut conduire à une dégradation thermique et mécanique de l'enveloppe, notamment lorsque des matériaux composites sont utilisés, avec une activation tardive des dispositifs de sécurité dans le meilleur des cas. Cet incendie peut être par exemple un feu de pneumatiques, un feu de nappe de fuel ou un jet enflammé d'hydrogène issu d'un réservoir adjacent. Dans cette configuration, l'éclatement du réservoir peut intervenir rapidement, avant même que l'incendie ne se propage jusqu'à la TPRD. Outre sa

ENCADRÉ 3

DISPOSITIFS DE CONTRÔLE ET DE PROTECTION DES SYSTÈMES SOUS PRESSION

Sur les appareils sous pression, il est généralement prévu un ou plusieurs dispositifs de sécurité afin d'éviter le scénario de rupture brutale de l'enveloppe en cas de pressurisation excessive :

- **Soupape** : elle vise à réguler et limiter la pression interne d'un équipement suite à une dérive de procédé (par exemple, un emballage thermique dans un réacteur ou une batterie). La soupape s'active à partir d'une consigne de pression et permet d'évacuer de manière contrôlée une partie du contenu pour faire baisser la pression interne. L'activation est mécanique, passive, automatique et réversible. Le dimensionnement des soupapes s'appuie sur les résultats de l'Hazop et des règles de calcul prescriptives maîtrisées par l'industrie.
- **Dépressurisation d'urgence** : elle vise à évacuer le contenu vers une zone sécurisée identifiée et prévue à cet effet (événement ou torche). Ce dispositif peut s'activer, après fermeture des vannes d'alimentation de l'appareil sous pression, manuellement ou automatiquement sur détection. L'activation est irréversible. Les scénarios de dimensionnement sont liés aux dérivés de procédés ou à une agression externe de type incendie. L'activation peut également être préventive, avant que l'agression ne soit effectivement présente.
- **Disque de rupture** : il est généralement complémentaire aux mesures précédentes et permet de réduire brutalement la pression par son ouverture calibrée sur la résistance de l'enveloppe. Ce système est passif.
- **Paroi de décharge ou événement d'explosion** : ce sont des éléments soufflables mis en place sur des ouvrages devant résister à une explosion interne. Ils s'apparentent à des disques de rupture de grandes dimensions.
- **TPRD (Temperature pressure relief device)** : ce dispositif est mis en place sur les réservoirs à haute pression tels que ceux destinés aux applications de mobilité hydrogène. Un fusible thermique déclenche l'ouverture irréversible d'un orifice à une température donnée, permettant de réduire brutalement la pression dans l'enveloppe. Ce dispositif passif est conçu pour les réservoirs exposés à un incendie.



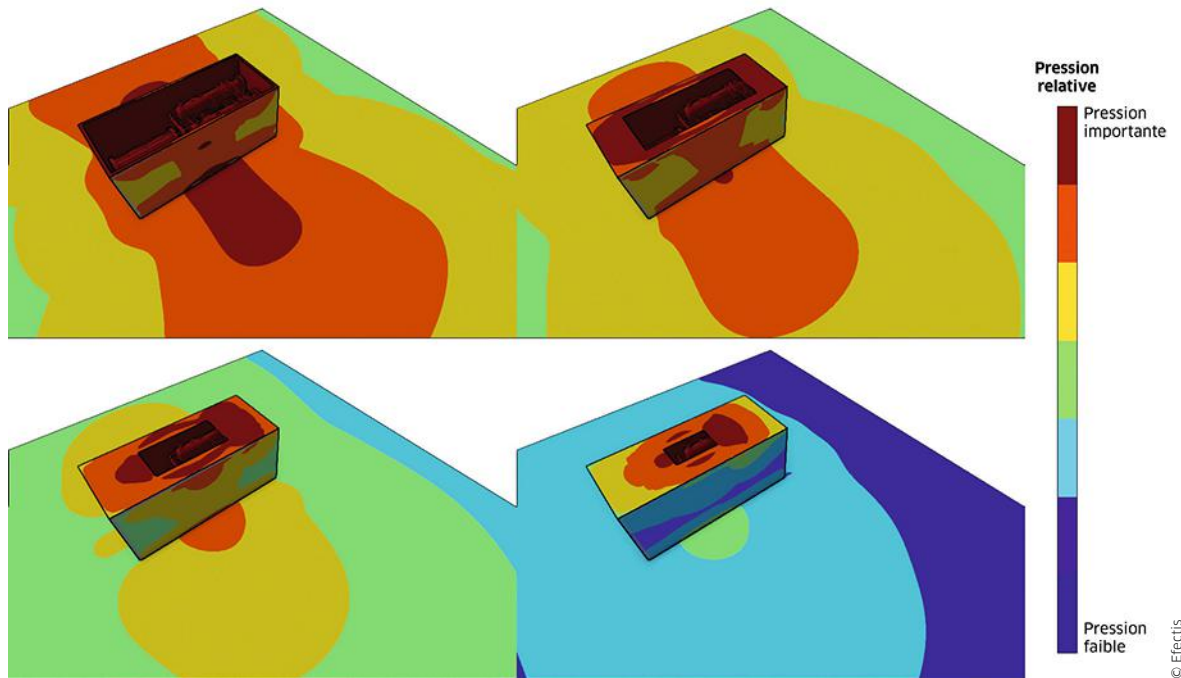


FIGURE 4 → Simulations de l'influence de la surface d'événements sur les zones d'effets de surpression autour d'une solution conteneurisée.

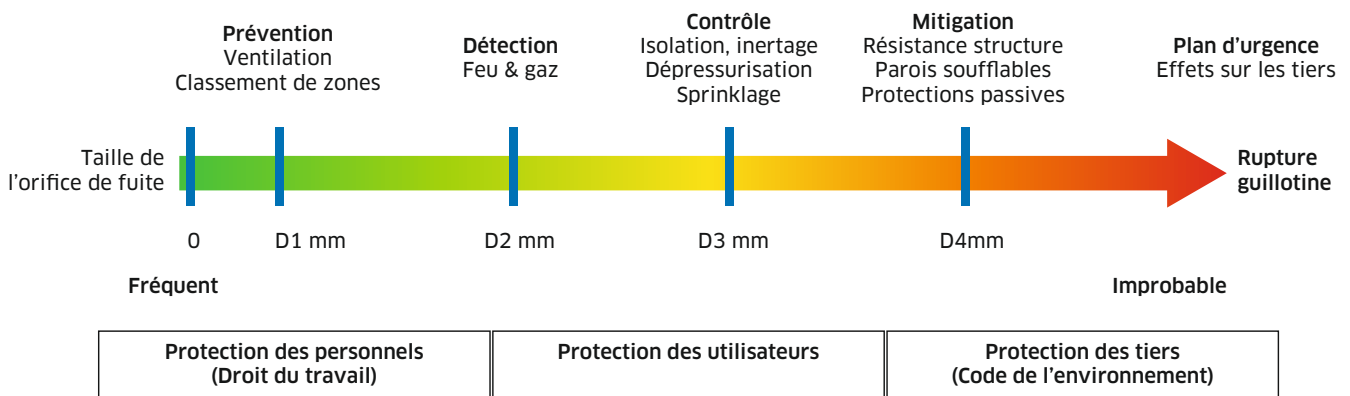
localisation, il convient de considérer l'inertie thermique et l'échauffement progressif de la bille de verre qui obture le dispositif de décharge de pression.

Protection contre les effets

Concernant la protection vis-à-vis des effets d'une explosion, le dimensionnement des ouvrages doit être effectué selon des méthodes adaptées permettant de prendre en compte, d'une part, des chargements (surpression) de forte intensité mais de durée très brève, et d'autre part, la capacité des matériaux au-delà de leur limite élastique (déformations résiduelles après l'événement). Le principe est de s'assurer que les objectifs de sécurité sont satisfaits moyennant des réparations plus ou moins conséquentes.

Concernant la protection vis-à-vis des effets d'un incendie, le dimensionnement des ouvrages s'appuie souvent sur les critères de performance traditionnels tel que le degré de résistance au feu normalisé (REI). Cette approche est néanmoins discutable car les nouvelles technologies (batteries, hydrogène) engendrent potentiellement des incendies et des effets d'une nature différente, avec une intensité accrue et, potentiellement, des projections de particules incandescentes qui peuvent favoriser l'érosion des matériaux de protection. Il n'existe malheureusement pas encore à ce jour d'essais normalisés permettant de justifier de la tenue des matériaux dans ce contexte. Il est donc nécessaire de faire progresser les connaissances sur ces sujets par des essais en vue d'élaborer des recommandations plus pertinentes.

↓ FIGURE 5 Approche progressive de dimensionnement des barrières pour une fuite d'hydrogène.



Intervention d'urgence

De manière générale, la mission des secours est de protéger les personnes et de s'assurer que les conséquences sur les tiers restent limitées. Il convient néanmoins de s'assurer que les secours puissent gérer la situation de manière efficace sans se mettre en danger. De même que précédemment, les connaissances sur les risques induits par ces nouvelles technologies sont en cours d'acquisition et seul le retour d'expérience permettra de définir des stratégies et des procédures d'intervention adaptées à chaque situation.

Dimensionnement des barrières

Caractérisation des scénarios

Un panel de scénarios accidentels, allant du plus fréquent avec des conséquences limitées au moins fréquent avec des conséquences majeures, doit être étudié afin de couvrir l'ensemble des risques jusqu'au seuil d'acceptabilité. Une attention toute particulière doit être portée sur les scénarios « intermédiaires » qui sont souvent dimensionnants, avec une intensité et une durée modérée, mais une fréquence significative en regard de la durée de vie de l'ouvrage.

Adéquation des barrières aux enjeux

Chaque barrière est dimensionnée de manière performantielle pour des scénarios d'une gamme d'intensité et de fréquence donnée. Par exemple pour une fuite, la barrière de prévention va couvrir les petites fuites, la barrière de détection traitera des fuites intermédiaires, etc. (Cf. Figure 5). Cela permet de couvrir l'ensemble des scénarios et d'éviter un dimensionnement inadéquat des barrières.

En regard de ces différentes tailles de fuite, les objectifs de sécurité concernant les personnes peuvent être également structurés, assurant ainsi l'articulation entre les prescriptions du droit du travail et la réglementation ICPE¹ lorsque celle-ci est applicable.

Cohérence des méthodes et des outils pour le dimensionnement

Le choix des méthodes et des outils pour le dimensionnement des barrières doit être adapté aux enjeux et à la phase du projet. Les bonnes pratiques en matière d'ingénierie de sécurité incendie et explosion nécessitent au préalable une bonne compréhension des phénomènes physiques impliqués, afin de pouvoir s'adapter et exploiter les outils appropriés en regard de leur domaine d'applicabilité. De plus, selon la disponibilité et la robustesse des données d'entrée, il est nécessaire d'adapter les choix pour les modélisations en privilégiant les études de sensibilité² qui permettent de mieux évaluer quels paramètres ou données d'entrée sont les plus critiques pour la suite du développement. De manière générale, il est donc recommandé d'avoir une vision d'ensemble de la problématique

en combinant les expertises de chacun, depuis l'analyse des risques jusqu'à la solution technique. Ceci permet d'optimiser le dimensionnement, tout en assurant une cohérence et une démonstration robuste des niveaux de sécurité atteints.

Conclusions et perspectives

L'émergence des nouvelles technologies dans le secteur de l'énergie, que ce soit au niveau de la mobilité ou des applications stationnaires, génèrent de nouveaux risques qu'il convient d'appréhender de manière globale.

Le développement de projets sûrs nécessite la sensibilisation des acteurs au regard :

- des propriétés spécifiques des produits et systèmes ainsi que des dangers potentiels associés ;
- des applications variées (fixe, mobile) et des cultures/réglementations applicables ;
- de l'intégration dans un environnement existant pouvant être complexe (encombrement/confinement) et incertain (agressions) ;
- des enjeux (présence de salariés ou du public à proximité, intégration à l'habitat).

Les approches prescriptives existantes, en termes de règles et normes actuelles, ne sont pas forcément adaptées pour ces nouvelles applications. Une approche structurée de la gestion des risques et des barrières de sécurité est néanmoins nécessaire. Une approche performantielle est particulièrement adaptée pour gérer ces nouveaux risques en s'appuyant sur un dimensionnement adéquat des barrières de sécurité actives et passives qui sont complémentaires, mais il reste essentiel de comprendre les phénomènes physico-chimiques en jeu, notamment leur cinétique et leurs effets, pour pouvoir s'y adapter.

Il est ainsi nécessaire de poursuivre et d'accentuer les travaux de recherche, et notamment de favoriser la réalisation d'essais, afin de disposer d'outils de prédiction (modélisation) pertinents, même si cela reste assez difficile compte tenu de l'évolution permanente des technologies.

Enfin, l'approche performantielle nécessite un suivi pendant toute la durée de vie de l'ouvrage ou de l'équipement et une gestion des modifications en vue, au minimum de maintenir, voire de réduire les niveaux de risque dans le temps. ●

1. Installation classée pour la protection de l'environnement.

2. Étude consistant à faire varier les paramètres d'entrée afin d'évaluer leur influence sur le résultat final dans un outil ou une méthode de calcul.

BIBLIOGRAPHIE

[1] NORME NF EN ISO 13702 – Industries du pétrole et du gaz. Contrôle et atténuation des feux et des explosions dans les installations en mer - Exigences et lignes directrices. Afnor, 2024. Accessible sur : <https://www.boutique.afnor.org/fr> (site payant).